



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI  
Fakulta mechatroniky, informatiky  
a mezioborových studií



# NOVÉ TYPY NÁTĚROVÝCH INTERIÉROVÝCH HMOT S ANTIBAKTERIÁLNÍM EFEKTEM

**Bakalářská práce**

*Studijní program:* B3942 – Nanotechnologie  
*Studijní obor:* 3942R002 – Nanomateriály

*Autor práce:* **Michal Špína**  
*Vedoucí práce:* doc. Mgr. Irena Lovětinská-Šlamborová, Ph.D.





TECHNICAL UNIVERSITY OF LIBEREC  
Faculty of Mechatronics, Informatics  
and Interdisciplinary Studies ■

# NEW TYPES OF INTERIOR PAINT MATERIALS WITH ANTIBACTERIAL EFFECT

## Bachelor thesis

*Study programme:* B3942 – Nanotechnology  
*Study branch:* 3942R002 – Nanomaterials

*Author:* **Michal Špína**  
*Supervisor:* doc. Mgr. Irena Lovětinská-Šlamborová, Ph.D.



**ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**  
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Michal Špína**  
Osobní číslo: **M11000057**  
Studijní program: **B3942 Nanotechnologie**  
Studijní obor: **Nanomateriály**  
Název tématu: **Nové typy nátěrových interiérových hmot s antibakteriálním efektem**  
Zadávající katedra: **Ústav nových technologií a aplikované informatiky**

**Z á s a d y   p r o   v y p r a c o v á n í :**

1. Vypracujte rešerši s využitím zahraničních i českých literárních zdrojů na téma interiérové nátěrové hmoty s antibakteriálními účinky. Zaměřte se zejména na aplikace ve zdravotnictví a na chemické složení nátěrových barev, které jsou dostupné na našem trhu.
2. Zpracujte aktuální problematiku patogenních mikroorganismů ve zdravotnictví v ČR a ve světě.
3. Zpracujte metodiku sol-gel, kterou je připraven antibakteriální sol, který má být aplikován do nebo na povrch nátěrových interiérových hmot.

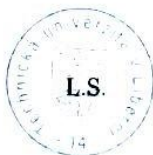
Rozsah grafických prací: dle potřeby  
Rozsah pracovní zprávy: cca 45 stran  
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická  
Seznam odborné literatury:


- [1] VOET, D., VOET, J. G.. Biochemistry. New York, Chichester: John Wiley and Sons, 2011. 1515 s. ISBN 13 978-0470-91745-9.
- [2] ALBERTS, B. Základy buněčné biologie. Praha: Espero Publishing, 2005. 740 s. ISBN 80-902906-2-0.
- [3] ŠLAMBOŘOVÁ, I., et al. New type of protective hybrid and nanocomposite hybrid coatings containing silver and copper with an excellent antibacterial effect especially against MRSA. Materials Science and Engineering C. 2013. s. 265-273.
- [4] MCMURRY, John. Organická chemie. Brno: VUTUM, 2007. 1176 pp. ISBN 978-80-214-3291-8.
- [5] HAAS K.-H., AMBERG-SCHWAB S., ROSE K. et al.: Functionalized coatings based on inorganic organic polymers (ORMOCERAs) and their combination with vapor deposited inorganic thin films. Surface and Coatings Technology 111, 1999. s. 72-79
- [6] HAAS K.-H., AMBERG-SCHWAB S., ROSE K., Functionalized coating materials based on inorganic-organic polymers. Thin Solid Films 351, 1999. s. 198-203.
- [7] HAAS K.-H., WOLTER H., Synthesis, properties and applications of inorganic?organic copolymers. Current Opinion in Solid State and Materials Science 4, 1999. s. 571-580.
- [8] HU L., ZHANG X., SUN Y. et al.: Hardness and Elastic Modulus Profiles of Hybrid Coatings, Journal of Sol-Gel Science and Technology 34, 2005. s. 41-46.
- [9] OUBAHA M., ETIENNE P., CALAS S., et al.: Spectroscopic characterization of solgel organo-siloxane materials synthesized from aliphatic and aromatic alcoxysilanes. Journal of Non-Crystalline Solids 351, 2005. s. 2122-2128.

Vedoucí bakalářské práce: **Mgr. Irena Šlamborová, Ph.D.**  
Katedra chemie

Datum zadání bakalářské práce: **21. října 2013**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **16. května 2014**

  
prof. Ing. Václav Kopecký, CSc.  
děkan



  
prof. Dr. Ing. Jiří Marýška, CSc.  
vedoucí ústavu

V Liberci dne 21. října 2013

## Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum:

Podpis:

## **Poděkování**

V první řadě bych chtěl na tomto místě poděkovat vedoucí své bakalářské práce doc. Mgr. Ireně Lovětinské-Šlamborové, Ph.D a konzultantce Mgr. Veronice Zajícové, Ph.D za vedení, poskytnuté rady, pomoc, trpělivost, kterou se mnou měly a zkušenosti, které mi pomohly získat.

Dále bych chtěl poděkovat také laborantkám paní Soně Rothové a Marcelle Krejčíkové za pomoc a rady při experimentální části práce.

Poděkovat bych chtěl také Ing. Pavlu Kejzlarovi, Ph.D, Ing. Janě Müllerové, Ph.D. a Ing. Janě Turečkové, Ph.D, za jejich pomoc s analýzou mých vzorků.

Chtěl bych také poděkovat své rodině za jejich podporu při psaní této práce a po celou dobu mého studia.

## Anotace

Předložená bakalářská práce se zabývá testováním účinků hybridního anorganicko-organického solu na bázi TEOS (tetraethylorthosilikát) a TMSPM (3-(trimethoxysilyl)propyl methakrylát) a MMA (methylmethakrylát), který byl přimíchán do komerčně dostupných nátěrových barev.

V rámci této práce byla hledána a navržena optimální koncentrace antibakteriálního solu a fotoiniciátoru (jako spouštěče polymerace). Dále byl optimalizován způsob (byla testována polymerace za běžného světla i za UVA záření) a doba polymerace vhodná pro sol v nátěrových barvách.

U připravených barev byla testována antibakteriální účinnost proti kmenům *Escherichia coli* a *Staphylococcus aureus* a antimykotická účinnost proti plísni *Candida glabrata*. Získané výsledky byly porovnávány se třemi tržně dostupnými barvami s deklarovanými antibakteriálními a antimykotickými účinky, které byly zakoupeny a otestovány. Interiérové barvy s antibakteriální aktivitou mají uplatnění ve zdravotnických zařízeních (operační sály, JIP,...), v ordinacích a čekárnách lékařů, ve školních zařízeních, zejména školkách, kde jsou rizika onemocnění vysoká, v domovech seniorů a všude tam, kde je nutné zabránit přenosu a nákaze pacientů zejména nozokomiálními infekcemi.

**Klíčová slova:** metoda sol-gel, antibakteriální nátěr, hybridní sol, kationty stříbra, antibakteriální barva

## Annotation

This bachelor thesis deals with testing the effects of hybrid inorganic-organic sol based on TEOS (tetraethylorthosilicate), TMSPM (3 - (trimethoxysilyl) propyl methacrylate) and MMA (methyl methacrylate) which was mixed into commercially available paints.

As a part of this work, an optimal concentration of antibacterial sol and photoinitiator (as a trigger of polymerization) was determined. Furthermore, the process of polymerization was optimized (polymerization was tested in normal light, and for UVA radiation) and so was the polymerization time, which was suitable for the sol in paints.

The prepared paints were tested for antibacterial activity against the strains of *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus* and antifungal activity against fungus *Candida glabrata*. The results obtained were compared with the three commercially available paints with declared antibacterial and antifungal effects, which were purchased and tested. Interior paints with antibacterial activity are used in the health care facilities (operative rooms, Intensive Care Units...), in the offices and waiting rooms of doctors, in the school facilities, especially kindergartens, where the disease risk is high, in the Retirement homes, and wherever it is necessary to prevent infections of patients and children, especially nosocomial infections.

**Key words:** sol-gel method, antibacterial coating, hybrid sol, silver cations, antibacterial paint



## Seznam použitých zkratk a symbolů

<b>BPO</b>	Benzoyl peroxid
<b>CFU</b>	Colony-forming unit (počet živých mikrobiálních kolonií)
<b>DLS</b>	Dynamický rozptyl světla (Dynamic light scattering)
<b>DNA</b>	Deoxyribonukleová kyselina
<b>G<sup>+</sup></b>	Grampozitivní
<b>G<sup>-</sup></b>	Gramnegativní
<b><i>E. coli</i></b>	<i>Escherichia coli</i>
<b>HDDA</b>	Hexanendiol diakrylát
<b>IPA</b>	Izopropylalkohol
<b>IPTI</b>	Izopropoxid titanu
<b>IR</b>	Infračervené (infrared) záření
<b>JIP</b>	Jednotka intenzivní péče
<b>MMA</b>	Methyl methakrylát
<b>MRSA</b>	Meticilin-rezistentní <i>Staphylococcus aureus</i>
<b>NH</b>	Nátěrové hmoty
<b>ORMOCERs</b>	Organicky modifikované keramiky (organically modified ceramics)
<b>ORMOSILs</b>	Organicky modifikované silikáty (organically modified silicates)
<b>ORSA</b>	Oxacilin-rezistentní <i>Staphylococcus aureus</i>
<b>RNA</b>	Ribonukleová kyselina
<b><i>S. aureus</i></b>	<i>Staphylococcus aureus</i>
<b>TEOS</b>	Tetraethylorthosilikát
<b>TMSPM</b>	3-(trimethoxysilyl)propyl methakrylát
<b>UV</b>	Ultrafialové záření

<b>UVA</b>	Ultrafialové záření o vlnové délce 315 – 400 nm
<b>UVB</b>	Ultrafialové záření o vlnové délce 280 – 315 nm
<b>UVC</b>	Ultrafialové záření o vlnové délce 200 – 280 nm
<b>VISA</b>	Kmeny <i>Staphylococcus aureus</i> se sníženou citlivostí k vankomycinu (Vankomycin-intermediate <i>S. aureus</i> )
<b>VRE</b>	Vankomycin-rezistentní enterokoky
<b>VRSA</b>	Vankomycin-rezistentní <i>Staphylococcus aureus</i>
<b>VŘ</b>	Vodou ředitelné

## Obsah

Poděkování.....	5
Anotace .....	6
Annotation .....	7
Seznam použitých zkratk a symbolů.....	8
1. Úvod.....	13
2. Teoretická část .....	14
2.1. Bakterie .....	14
2.1.1. Systematické zařazení a stavba bakterií.....	14
2.1.2. Růst a množení.....	16
2.1.3. Bakteriocidní a bakteriostatický účinek.....	18
2.1.4. Metody usmrcení bakterií .....	18
2.1.4.1. Fyzikální metody .....	18
2.1.4.2. Chemické metody .....	19
2.1.4.3. Antimikrobiální látky.....	19
2.1.5. Rezistentní původci onemocnění .....	23
2.1.5.1. Nozokomiální infekce.....	23
2.1.6. Budoucnost likvidace bakterií .....	24
2.1.6.1. Kationty kovů .....	24
2.1.6.2. Další možné způsoby léčby .....	25
2.2. Nátěrové hmoty s antibakteriálním a antimykotickým účinkem .....	27
2.2.1. Současné technologické postupy k zajištění antimikrobiálních povrchů .....	27
2.2.2. Trh antimikrobiálních nátěrů .....	28
2.2.3. Situace na trhu s nátěrovými hmotami .....	29
2.2.4. Výběr barev s antimikrobiálním účinkem na českém trhu .....	32
2.2.4.1. Hygienické barvy nabízené na českém trhu .....	32
2.2.4.2. Barvy s fungicidním účinkem.....	32
2.2.4.3. Barvy s antibakteriálním účinkem .....	34
2.2.4.4. Barvy s antibakteriálním a fungicidním účinkem.....	34
2.2.5. Barvy vytipované pro sol s antibakteriálními účinky .....	36
2.3. Sol-gel metoda .....	38
2.3.1. Suroviny využívané k metodě sol-gel.....	40
2.3.2. Princip metody sol-gel.....	41

2.3.3. Použití metody sol-gel .....	43
2.3.4. Metody nanášení .....	43
3. Použité experimentální metody .....	44
3.1. Infračervená spektroskopie .....	44
3.2. Měření velikosti částic .....	44
3.3. Testy antibakteriálních a antimykotických účinků      připravených vzorků ..	45
4. Experimentální část.....	46
4.1. Postup přípravy solu AD9.....	46
4.1.1. Použitý materiál .....	46
4.1.2. Syntéza solu - postup .....	46
4.2. Analýza solu .....	47
4.2.1. Infračervená spektroskopie .....	47
4.2.2. Měření velikosti částic .....	48
4.3. Výběr barev.....	50
4.3.1. Zvolené vodou ředitelné nátěrové hmoty .....	50
Jupol Latex saten .....	50
Balakryl PLASTY 0100 bílý .....	50
Levis Latex .....	51
4.3.2. Zvolené rozpouštědlové nátěrové hmoty .....	51
LAKSIL bezbarvý lesklý .....	51
Lak U-1051polyurethanový .....	52
Johnstone's Polyurethane Varnish - Polyuretanový lak syntetický.....	52
4.3.3. Tržně dostupné barvy s antibakteriální a antimykotickým účinkem .....	53
Jupol Citro.....	53
Primalex mykostop .....	53
Remal protiplísňový.....	53
4.4. Postup přípravy pokusu .....	55
4.4.1. Složení antibakteriální směsi .....	55
4.4.2. Ředění antibakteriální směsi izopropylalkoholem.....	55
4.4.3. Míchání solu s barvou.....	56
4.4.4. Polymerace.....	59
4.4.5. Použití tržně dostupných barev .....	59
4.5. Antibakteriální a antimykotické testy .....	60

4.5.1. Postup testů .....	60
4.5.2. Výsledky bakteriálních a mykotických testů .....	61
5. Shrnutí výsledků a diskuze .....	90
6. Závěr .....	93
7. Literatura.....	94

## 1. Úvod

V posledních letech, zejména ve vyspělých zemích, stále více přibývá kmenů bakterií, plísňí a virů odolných vůči jednomu nebo více druhům antibiotik. Tento nárůst rezistence je ve velké míře způsoben neuváženým nadměrným užíváním antibiotik, zejména širokospektrálních, což mikrobům umožňuje vypěstovat si multirezistenci, tedy odolnost proti více druhům antibiotik. Mezi odolné kmeny bakterií patří například MRSA (Meticilin-rezistentní *Staphylococcus aureus*), ORSA (Oxacilin-rezistentní *Staphylococcus aureus*) nebo VRE (Vankomycin-rezistentní enterokoky). Z plísňí sem můžeme zařadit *Aspergillus niger* nebo rod *Candida*, zejména druh *Candida albicans*.

Tyto rezistentní bakteriální nebo plísňové kmeny jsou největším rizikem pro osoby se sníženou imunitou. Rizikovými místy jsou domovy pro seniory, školní budovy, jídelny, výroby a prodejny potravin, sportovní centra a další. Na prvním místě jsou to ale nemocnice a jiná zdravotnická zařízení. Častým problémem ve zdravotnických zařízeních jsou tzv. nozokomiální infekce, což jsou infekce, kterými se pacient nakazí při pobytu v nemocnici.

Jednou z variant omezení rizik nákazy nebezpečnými patogeny jsou hygienické nátěry a obecně antimikrobiální úpravy různých povrchů, se kterými lidé přicházejí do kontaktu. Tématem této práce je příprava antimikrobiálního nátěru na bázi solu s obsahem kationtů  $\text{Ag}^+$ ,  $\text{Cu}^{2+}$  a  $\text{Zn}^{2+}$  jako účinných složek. Cílem bylo připravit barvu s co nejlepšími antibakteriálními a antimykotickými účinky, která bude mít zároveň dobré nátěrové vlastnosti a cenovou dostupnost.

## **2. Teoretická část**

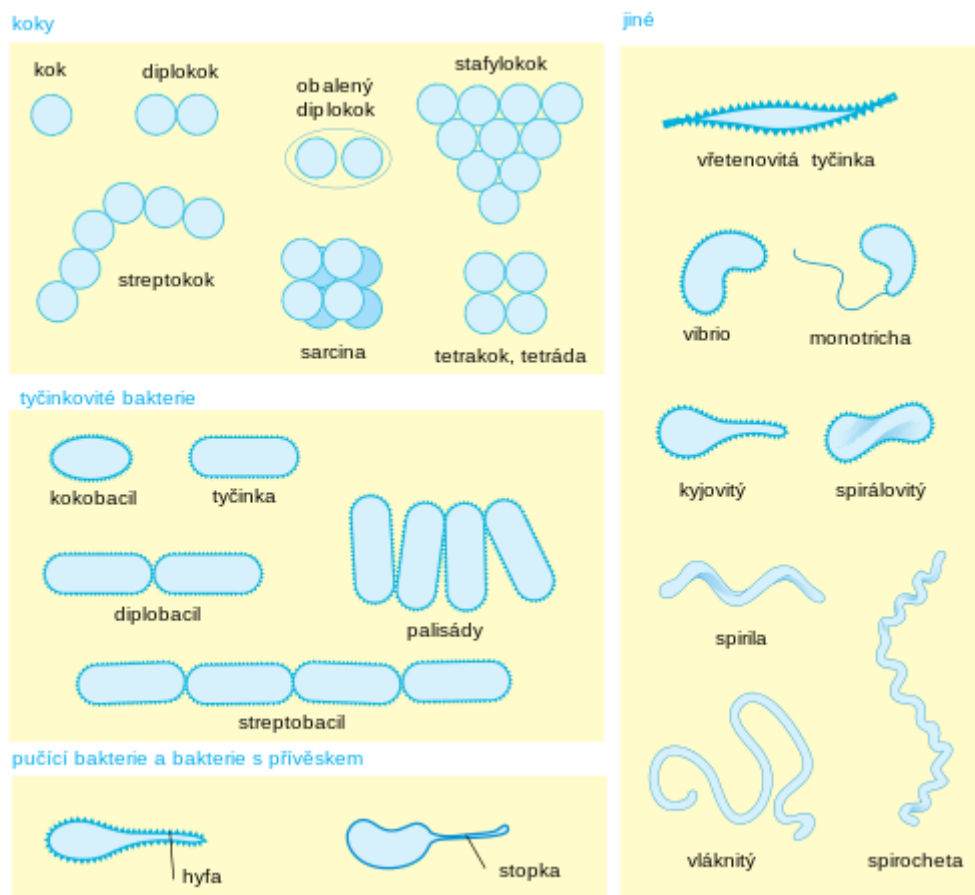
### **2.1. Bakterie**

Bakterie jsou organismy s nejmenší a nejjednodušší buňkou na Zemi. Vzhledem k rychlému metabolismu jsou bakterie schopné se v příznivém prostředí velmi rychle množit, a proto svým počtem převyšují všechny ostatní živé organismy. Přehrádečným dělením se tak může dít přibližně každých 20 minut. Díky rychlému sledu nových generací mají bakterie rychlou schopnost adaptace na prostředí, které proti nim použijeme, například se jedná o odolnost vůči některým antibiotikům (kmeny MRSA, VRE a další), nebo dezinfekčním prostředkům. Bakterie se vyskytují prakticky ve všech různých prostředích na této planetě, včetně horkých sopečných pramenů (termofilové) nebo prostředí s vysokou koncentrací solí (halofilové). Některé z nich vyhledávají prostředí bez kyslíku (anaerobní bakterie). Zdroje živin si dokáží najít prakticky kdekoliv, například fotosyntetizující bakterie získávají energii ze slunce a jsou nejprimitivnějšími organismy schopnými fotosyntézy. Velké množství bakterií žije v úzkém vztahu, a to jak parazitickém tak symbiotickém, s vyššími organismy. Patří tam například vědci nejčastěji studovaná bakterie *Escherichia coli* (*E. coli*). Je to tyčinkovitá bakterie žijící v tlustém střevě obratlovců, kde má funkci symbiotickou. Jinde však může působit jako parazit.

#### **2.1.1. Systematické zařazení a stavba bakterií**

Bakterie patří do skupiny Prokaryot, která jsou mnohem starší a jednodušší skupinou organismů než Eukaryota. Skupina Prokaryot se dělí na říše Archaea (dříve Archebacteria) a Eubacteria. Prakticky všechny bakterie běžně se vyskytující v normálním prostředí jsou Eubacteria. Bakterie říše Archaea obývají převážně ostatním nepříznivá prostředí, jsou to například halofilové, termofilové a producenti methanu.

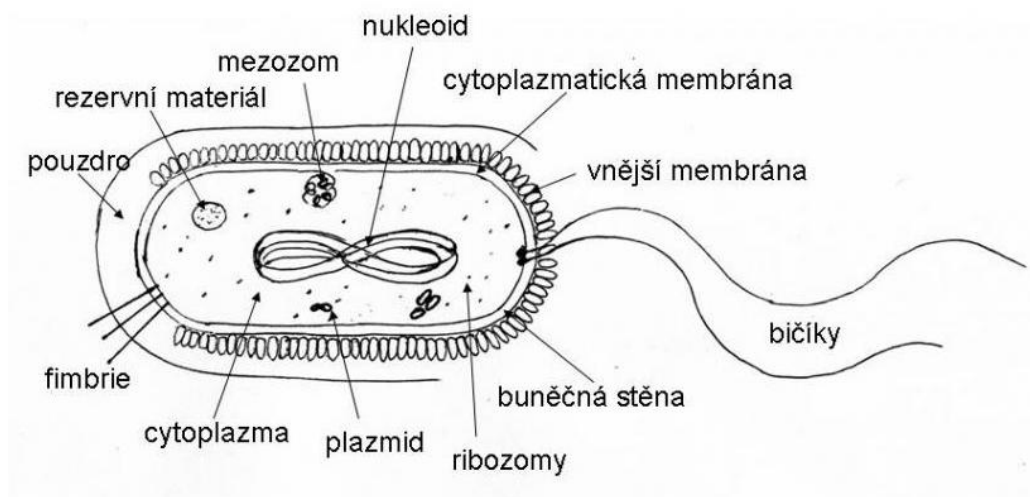
Velikost bakterií se pohybuje v řádu mikrometrů, tvarová pestrost není příliš velká. Jedním z klasifikačních hledisek je jejich tvar, dělí se na kulovité buňky (koky), tyčinky, spirály a jejich kombinace [1]. Některé základní tvary bakteriálních buněk jsou na obrázku 1.



**Obrázek 1:** Základní tvary bakterií [2]

Bakteriální buňka má na rozdíl od eukaryotní buňky mnohem méně funkčních struktur. Základem každé buňky je jádro, které je tvořeno do kruhu uzavřenou molekulou DNA a není membránově ohraničeno. Další strukturou uvnitř buňky jsou ribozomy, na kterých probíhá proteosyntéza. Bakterie často obsahují plazmidy, což jsou doprovodní nositelé DNA. Od okolního prostředí je buňka oddělena cytoplazmatickou membránou, která je často ještě krytá buněčnou stěnou, u některých se slizovým pouzdrém. Vnitřní buněčný prostor je vyplněn cytoplazmou, v níž všechny funkční orgány plavou.





**Obrázek 2:** Stavba bakteriální buňky [3]

Podle složení buněčné stěny můžeme bakterie rozdělit na grampozitivní ( $G^+$ ) a gramnegativní ( $G^-$ ). Oba typy se dají obarvit pomocí Gramova barvení. Gramnegativní bakterie se následně dají odbarvit ethanolem, zatímco grampozitivní nikoliv. Grampozitivní bakterie mají tlustou stěnu z polysacharidu peptidoglykanu, která téměř neobsahuje lipidy, zatímco stěna gramnegativních bakterií je slabší a obsahuje mnohem více lipidů rozpustných v ethanolu.

Obvykle, ne ale vždy, se na povrchu buňky nalézá jeden nebo více bičíků, které slouží k pohybu buňky. Další obvyklou strukturou na povrchu buňky jsou fimbrie, jichž existuje více druhů podle funkcí, jako je přilnutí k nějakému povrchu, nebo také přenos DNA mezi bakteriemi (sex-fimbrie). Jak bičíky, tak fimbrie se skládají z bílkovin ve šroubovicovém uspořádání [4].

### 2.1.2. Růst a množení

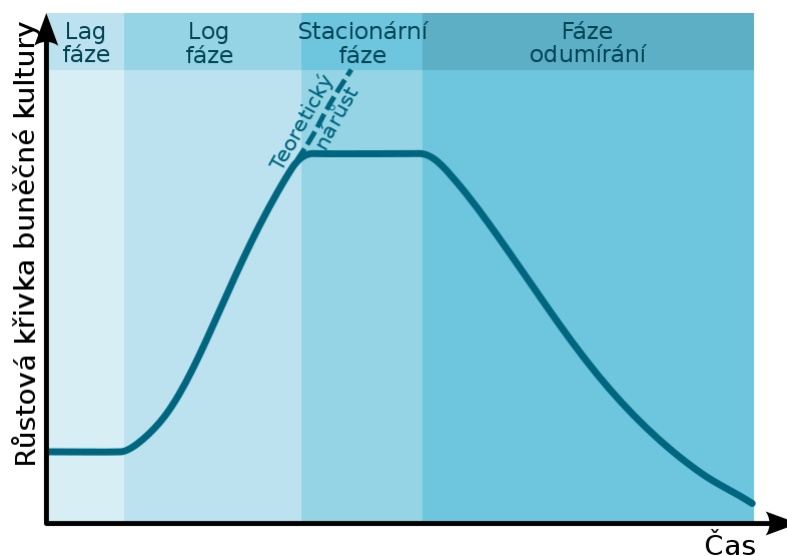
Jak již bylo řečeno, bakterie jsou schopny žít v mnoha různých typech prostředí, avšak kvůli přírodním zákonům si, pokud mají tu možnost, vyberou způsob života s co nejmenšími energetickými výdaji. Takovým prostředím často bývá jiný organismus, což je důvod parazitického způsobu života mnoha druhů bakterií. Ideální prostředí k růstu různých druhů bakterií je různé. Liší se teplotou, pH či chemickým složením prostředí a dalšími podmínkami.

Při nepříznivých podmínkách, jako je nedostatek vody nebo živin, jsou některé bakterie schopné tvořit spory, což je neaktivní vysoce odolný stav bakterie. Ve stavu spory je bakterie schopná přežít například i při teplotě varu vody. Dostane-li se bakterie ve sportovaném stavu opět do prostředí vhodného k životu, nastane „klíčení“ (germinace) a životní funkce jsou obnoveny. Mezi bakterie tvořící spory patří například rod *Clostridium*.

Vzhledem k tomu, že obvyklý způsob reprodukce bakterií je rozdělení jedné buňky na dvě, je jejich přírůstek geometrický, podle rovnice

$$B = B_0 \times 2^n$$

kde  $B_0$  značí původní počet bakterií, které se dostaly do daného prostředí a začaly se reprodukovat a  $n$  je počet dělení, ke kterým došlo. Čím kratší je generační doba, což znamená časový interval mezi dvěma rozděleními jedné buňky, tím je nárůst počtu bakterií rychlejší.



**Obrázek 3:** Růstová křivka buněčné kultury [5]

Pro bakterie v živém tekutém prostředí je známa typická, tzv. růstová křivka bakterií, znázorňující počet bakterií v závislosti na čase, mající čtyři fáze (obrázek 3). První je tzv. lag fáze, přibližně vodorovná část křivky, kdy se bakterie adaptují na nové prostředí a nepřibývá jich. Poté se buňky postupně začínají dělit a nastává ohýb křivky. V momentě, kdy již všechny buňky provádějí dělení, které má u všech stejnou rychlost,

jejich počet exponenciálně roste. Tato fáze se nazývá exponenciální nebo logaritmická. Ta je vystřídána stacionární fází, kdy již buněk nepřibývá. Příčinou zastavení množení je buď vyčerpání mezních živin, nebo nahromadění metabolických toxinů. Nakonec následuje poslední fáze, kterou je fáze hynutí, kdy počtu bakterií ubývá.

### **2.1.3. Bakteriocidní a bakteriostatický účinek**

Bakteriocidní účinek znamená usmrcení bakterií, obecně slova s příponou *-cidní* (fungicidní, virucidní atd.) používáme pro usmrcení nějaké skupiny mikroorganismů. Bakteriostatický účinek neznamena přímé okamžité zabití bakterií, ale pouze inhibici jejich množení, takový účinek má například většina léčiv, neboť látky s bakteriocidním účinkem mají vysoce toxický účinek i pro buňky lidského těla [6].

### **2.1.4. Metody usmrcení bakterií**

#### **2.1.4.1. Fyzikální metody**

Nejčastěji používaná je sterilizace pomocí tepla. Pro odstranění všech bakterií včetně spor je obvykle aplikována teplota 120 °C po dobu 20 minut, nevýhoda je v tom, že ne každý materiál, takovou vysokou teplotu vydrží.

Dalšími fyzikálními metodami jsou UV a ionizační záření. Při působení UV záření dochází ke zkřížení vazeb mezi sousedními pyrimidinovými bázemi. Ionizačním zářením dochází ke zlomům v řetězcích DNA. UV záření můžeme podle vlnové délky rozdělit na 3 typy: UVA, UVB a UVC. Záření UVA (315 – 400 nm) nepoškozuje DNA přímo, ale může vyvolat vznik reaktivních kyslíkových radikálů, které následně DNA poškozují. UVB (280 – 315 nm) má o něco vyšší energii a dokáže DNA poškozovat přímo. Záření UVC (200 – 280 nm) má kratší vlnovou délku a tím pádem i vyšší energii, než UVA a UVB. Snadněji tedy proniká do buněk a působí jim nevratná poškození. Nukleové kyseliny nejvíce absorbují záření o vlnové délce kolem 254 nm [7], což se využívá u germicidní lampy, která ničí mikrobiální zárodky [6].

#### **2.1.4.2. Chemické metody**

Látky s bakteriocidním účinkem můžeme rozdělit do několika skupin podle chemického složení a účinku.

Alkoholy (etanol, izopropylalkohol) a fenoly jsou hydroxyderiváty s funkční skupinou – OH, které rozpouštějí tuky a koagulují bílkoviny. Mají nevýhodu v tom, že nejsou sporocidní (odolávají jim sporulující bakterie), avšak zesilují sporocidní účinek některých sporocidních činidel, například formaldehydu [8]. Z tržně dostupných výrobků můžeme k alkoholovým přípravkům zařadit Septoderm či Desmanol. Mezi fenolové se řadí Orthosan BF 12 nebo Spitaderm

Využívány jsou zejména chlór nebo jód a látky, které je obsahují a jsou schopné je uvolňovat. Tato metoda dezinfekce je založena na oxidačně-redukčních reakcích. Mezi přípravky dostupné na trhu patří v případě jódu například Jodisol, Jodonal B nebo Betadine. K přípravkům obsahujícím chlór patří SAVO, Chloramin T, Dikonit.

Další skupinou jsou látky způsobující bouřlivou destruuující oxidaci, například peroxidy nebo kyseliny (benzoová, citrónová, octová nebo perochoctová, známá jako PERSTERIL ).

Zcela odlišným způsobem působí na mikroorganismy kvarterní amoniové soli. Tyto látky obsahující dusík jsou povrchově aktivní a pomocí adsorpce na povrch buněk mikroorganismů narušují jejich respirační funkce. Mezi tržně dostupné produkty na tomto principu patří Ajatin nebo Septonex. Biocidní účinek mají také těžké kovy jako stříbro, rtuť, měď nebo zinek (více v kapitole 2.1.6.1.).

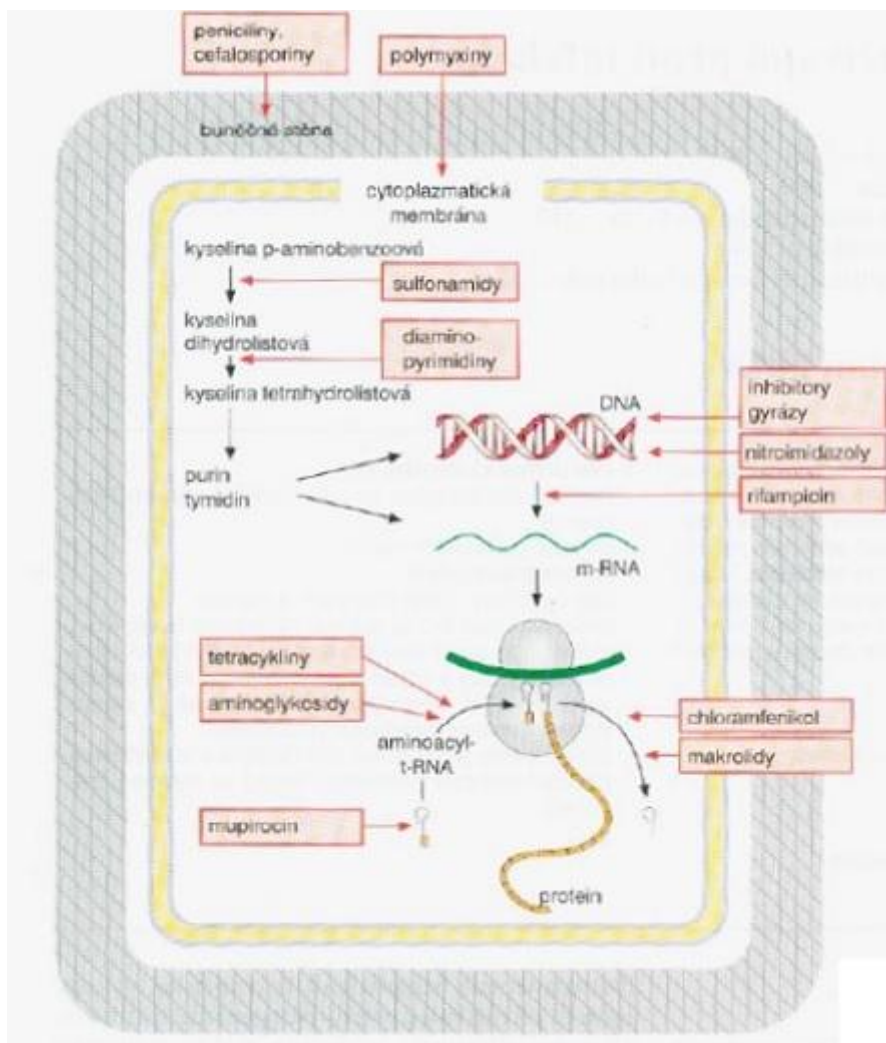
#### **2.1.4.3. Antimikrobiální látky**

Mezi látky s výše zmíněným účinkem patří i antibiotika. Jejich syntetickou obdobou jsou chemoterapeutika. Obě skupiny látek se souhrnně řadí mezi antimikrobiální látky.

##### **2.1.4.3.1 Mechanismy účinku likvidace bakteriální buňky antibiotikem**

Typickým způsobem účinku je narušení syntézy buněčné stěny, takový účinek mají například  $\beta$ -laktamy (patří sem například Penicilin) nebo glykopeptidy (do této skupiny patří například Vankomycin). Další typy antibiotik inhibují syntézu bílkovin tím, že

zasahují do různých fází proteosyntézy na ribosomech. Mezi ně patří tetracykliny (příkladem je antibiotikum Oxytetracyklin) nebo aminoglykosidy (například Kanamycin). Dalším typickým způsobem účinku je narušení syntézy nukleových kyselin (například chinolinová antibiotika se váží na enzym gyrázu a tím inhibují její účinek).



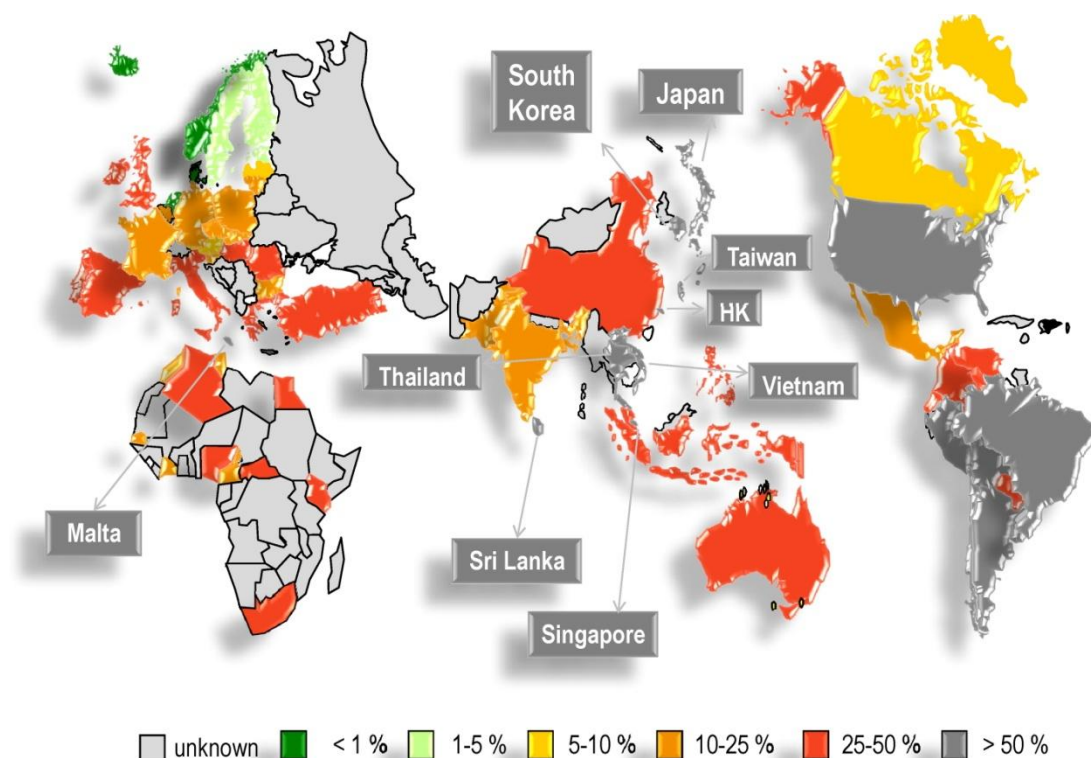
**Obrázek 4:** Místa působení antibakteriálních farmak v buňce [9]

Přestože od jejich objevu a zavedení do výroby se antibiotika stala velmi účinnou zbraní proti bakteriím, nemusí to tak být nadlouho, protože se stále více objevují bakteriální kmeny, které jsou rezistentní vůči antibiotikům. Mezi citlivými bakteriemi se vždy vyskytuje určité procento mutantů (uvádí se přibližně  $10^{-8}$ ), které jsou vůči antimikrobiálním látkám rezistentní. Důvodem je většinou buď mutací způsobená

změna cílové skupiny, čímž se sníží afinita k antibiotiku, nebo přítomnost enzymu schopného inaktivovat antibiotikum pozměněním jeho struktury. Dalším známým mechanismem je tzv. eflux, což znamená vypuzení antibiotika ven pomocí specifické bílkoviny. Normálně je počet rezistentních bakterií zanedbatelný, ale při působení selektivního tlaku antibiotik, které zabijí jen ty citlivé, přežijí jen bakterie rezistentní, které se rozmnoží o to více a svou rezistenci předávají následujícím generacím vertikálně. Dochází ale i k horizontálnímu přenosu zejména pomocí plazmidů (R-plazmid = nositel rezistence). Předávání R-plazmidů může probíhat i mezi poměrně odlišnými druhy, často i mezirodově. Dalšími, ale méně častými způsoby přenosu může být bakteriofág (transdukce) nebo DNA (transformace) [4].

#### **2.1.4.3.2. *Staphylococcus aureus***

*Staphylococcus aureus*, je grampozitivní bakterie kulovitého tvaru, tvořící kolonie oranžové barvy. Je producentem řady toxinů, z nichž hlavní je  $\alpha$ -hemolysin. Je častým původcem infekce ran a onemocnění kůže (furunkl, karbunkl, mastitida a další), kromě toho může taky způsobit otravu z jídla projevující se průjmy a zvracením, neboť stafylokokové enterotoxiny, jsou značně termostabilní a odolávají i půlhodinovému varu [10]. Stafylokoky byly prvními objevenými původci nozokomiálních infekcí. Významné jsou zejména kmeny rezistentní vůči penicilinovým antibiotikům necitlivým k  $\beta$ -laktamázám jako MRSA (metilicilin-rezistentní *Staphylococcus aureus*) a ORSA (oxacilin-rezistentní *Staphylococcus aureus*). Stafylokoky jsou do jisté míry rezistentní k nepříznivým vlivům zevního prostředí. Odolávají zahřátí na 55°C po dobu 30 minut, dále vysychání a dokonce vyšším koncentracím NaCl (byla zjištěna tolerance až k 10% roztoku NaCl) [11]. Odhaduje se, že dohromady až 70 % lidí je kolonizováno bakteriemi *Staphylococcus aureus* rezistentními nebo citlivými k penicilinovým antibiotikům. Stafylokoky se vyskytují na kůži, nosní sliznici, v dýchacích cestách nebo konečníku. Rezistentní kmeny vzniklé v nemocnicích se mezi populaci dostanou od propuštěných pacientů a nemocničního personálu. Podíl MRSA mezi *Staphylococcus aureus* celosvětově stoupá, v některých oblastech již překročil 50 %, jak můžeme vidět na obrázku 5. Dlouhou dobu byly stafylokoky senzitivní k vankomycinu, ale ani ten už zcela nezabírá a objevily se kmeny VISA (kmeny *Staphylococcus aureus* se sníženou citlivostí k vankomycinu) a také VRSA (Vankomycin-rezistentní *Staphylococcus aureus*).



**Obrázek 5:** Přehled zastoupení MRSA mezi bakteriemi *Staphylococcus aureus* v nemocnicích [12]

#### 2.1.4.3.3. *Escherichia coli*

*Escherichia coli* je běžný komensál tlustého střeva. Fekální znečištěním se dostává do vody, kde může přežít řadu týdnů. Patogenita *E.coli* vyvolává 2 typy onemocnění: extraintestinální (hlavně močových cest, infekce ran, sepse a hnisavé procesy) a v intestinálním traktu působí infekce, které jsou provázeny průjmy. *E.coli* je citlivá primárně na většinu antibiotik, ale zejména kmeny, které se vyskytují v nemocnicích, mají sekundární rezistenci přenosového typu [1]. Terapie extraintestinálních infekcí spočívá v léčbě antibiotiky, u intestinálních forem je nutno dbát na rehydrataci.

#### 2.1.4.3.4. Vankomycin-rezistentní enterokoky

Enterokoky jsou grampozitivní koky vyskytující se v řetězcích. Jsou to bakterie odolné k fyzikálním vlivům, dobře rostou v širším teplotním rozmezí, jsou odolné vůči

kyselému pH prostředí. Tvoří přirozenou součást mikroflóry tlustého střeva a u žen také genitálií. Enterokoky však mohou u oslabených jedinců infikovat močové ústrojí, kardiovaskulární systém nebo centrální nervovou soustavu. Jsou méně citlivé k penicilinovým antibiotikům a aminoglykosidům. Obvyklým antibiotikem nasazovaným proti enterokokům bývá vankomycin, objevují se však kmeny proti němu rezistentní, zvané VRE (Vankomycin-rezistentní enterokoky). Největší význam mají kmeny *Enterococcus faecium* a *Enterococcus faecalis*, jejichž výskyt je nejčastější.

## **2.1.5. Rezistentní původci onemocnění**

### **2.1.5.1. Nozokomiální infekce**

Nozokomiálními infekcemi jsou nazývány takové infekce, které souvisejí s hospitalizací v nemocnici. Jde o infekce, kterými je lidský organismus nakažen v důsledku snížené imunity vlivem lékařských zákroků.

Dalším problémem, který se v tomto směru v nemocnicích vyskytuje je kolonizace, což je osídlení kůže, sliznice, sekretů nebo rány potenciálně patogenními organismy, což může vést k infekci.

Přestože je ve zdravotnických zařízeních usilováno o co nejvyšší úroveň hygieny prostředí, stejně se nepodaří zlikvidovat všechny nežádoucí mikroorganismy, obzvláště ty s vysokou rezistencí. Jedním z míst, kde se mohou patogenní mikroorganismy ve zdravotnických zařízeních vyskytovat, jsou například stěny místnosti nebo další plochy většího obsahu. Jednou z možností výrazného snížení rizika výskytu mikroorganismů na stěnách je aplikace nátěrů s antimikrobiálními účinky.

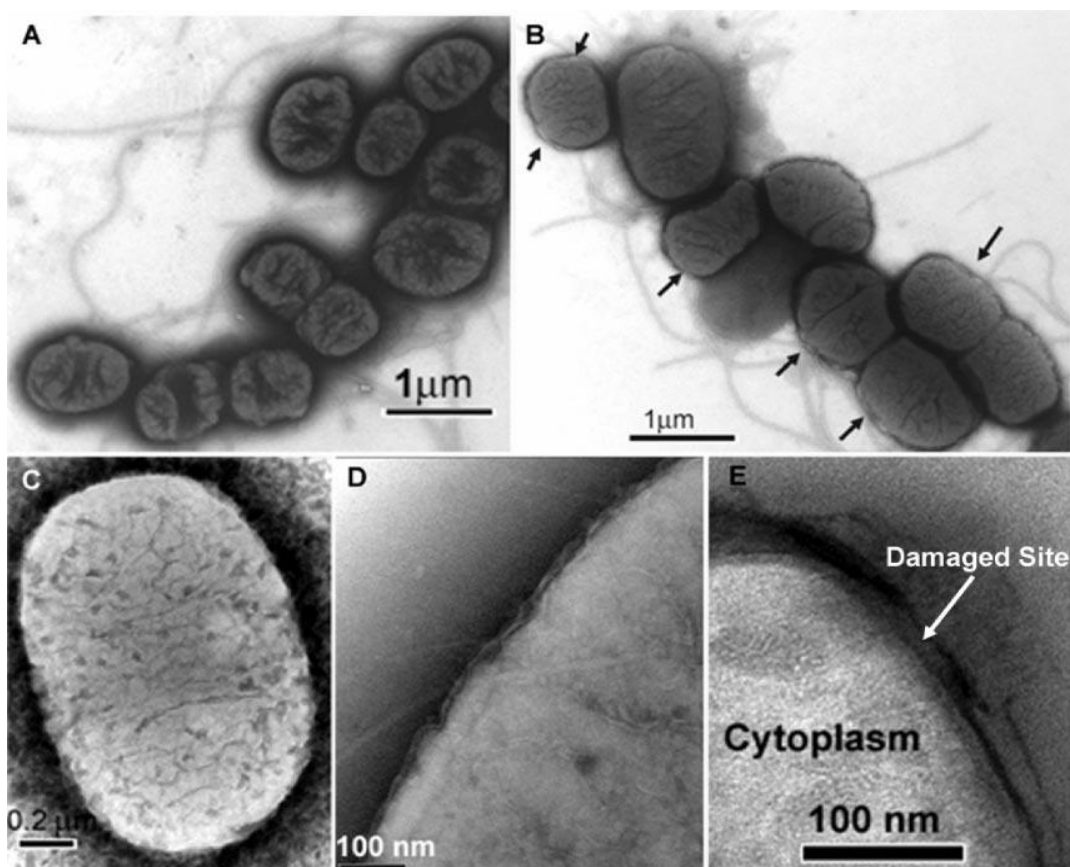
Mnohé z rezistentních mikroorganismů v nemocnicích nejsou tolik nebezpečné tím, že by byly mimořádně patogenní, ale zejména svou rezistencí vůči většině způsobů likvidace. Je zde také riziko přenosu genů způsobujících rezistenci na nějaký vysoce patogenní mikroorganismus, což může vést k pandemii.



## 2.1.6. Budoucnost likvidace bakterií

### 2.1.6.1. Kationty kovů

Velmi dobrým antibakteriálním prostředkem se zdají být kationty kovů, a to například  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Ti}^{2+}$ ,  $\text{Au}^+$ ,  $\text{Zn}^{2+}$  a zejména  $\text{Ag}^+$ . Zaměřím se zde na stříbro, jehož antibakteriální účinky jsou známy odedávna. Kovové stříbro je biologicky inertní a bez účinku, ale v oxidovaném stavu ve formě oxidu nebo dusičnanu má značné antimikrobiální účinky. Na mikroorganismy působí stříbrné kationty hned několika mechanismy. Stříbro má vysokou afinitu k záporně nabitým postranním skupinám molekul v buňce (sulfohydryl, karboxyl, fosfáty a další záporně nabitě skupiny) [13]. Dále ovlivňuje syntézu buněčné stěny, proteinů, translaci nukleových kyselin a transport elektronů uvnitř buňky. Stříbrné ionty působí toxičtěji proti nižším organismům než proti těm vyšším, což je pro medicínské aplikace výhodné. Kovové stříbro v neoxidovaném stavu je sice také antibakteriální, ale většina zůstane nevyužitá. Hlavní výhoda aplikace nanočástic stříbra je v jejich velkém měrném povrchu. Částice o rozměrech 5-25 nm se díky tomuto velkému povrchu snadno oxidují na  $\text{Ag}_2\text{O}$ , a to například vlhkostí ze vzduchu nebo tělních tekutin. Oxidace stříbra je velmi pomalá, což prodlužuje trvanlivost účinků. Antibakteriální aktivita nanočástic je nepřímo úměrná jejich velikosti [13,14].



**Obrázek 6:** Příklad účinku  $\text{Ag}^+$  na bakteriální buňku *E. coli*. A – *Escherichia coli* jako modelový organismus, B - Účinek  $\text{Ag}^+$  – viditelné poškození buněčné stěny, C, D, E – detailní snímky – poškození a následné inhibice bakterie [15].

#### 2.1.6.2. Další možné způsoby léčby

Vzhledem k možnostem moderní vědy, co se týče dešifrování struktury bakteriálního genomu, je možné vyhledávat nová cílová místa účinku antibiotik či spíše chemoterapeutik. Například u stafylokoků nebo pneumokoků byly jako perspektivní cíle vyhodnoceny například aminoacyl-RNA-syntetáza (přenos aminokyseliny) nebo deformyláza polypeptidu (ukončení syntézy bílkovinné molekuly).

Další možností je využití zcela nových látek, jako například fytofarmak či zoofarmak izolovaných z rostlin, respektive zvířat. Uvažuje se také o použití virů napadajících bakterie – bakteriofágů [4]. Principem terapie pomocí bakteriofágů je vystavení bakteriálních buněk specifickému viru, který pronikne dovnitř a zničí je. Výhodou je velmi přesné spektrum účinku, kde můžeme zacílit na jeden konkrétní druh bakterie. Zároveň (u virů člověka nenapadajících) fágová terapie působí na člověka méně toxicky

než antibiotika. Další výhodou je, že proti virům bakterie nemají vyvinutou rezistenci [6]. Jedná se ale o možnosti, jejichž uvedení do praxe si vyžádá ještě hodně času.

## **2.2. Nátěrové hmoty s antibakteriálním a antimykotickým účinkem**

### **2.2.1. Současné technologické postupy k zajištění antimikrobiálních povrchů**

Vyvíjených technologických postupů k zajištění antimikrobiálních povrchů je mnoho a nejvyšší účinnost a perspektivita se očekává od antimikrobiálních nátěrů. Problematika antimikrobiálních nátěrů je v pozornosti odborné veřejnosti již více než deset let. Antimikrobiální nátěry jsou určeny především proti škodlivým bakteriím a částečně i plísním. Účinnost dosud používaných nátěrů je selektivní. Minimální účinné koncentrace používaných biocidních látek pro likvidaci bakterií jsou velmi odlišné. Dosud používané chemické prostředky k zajištění hygieny povrchu jsou:

- Běžné dezinfekční prostředky založené na působení chloru, jodu, kvartérních amonných roztoků (solí) či aktivního kyslíku. Účinek je ale krátkodobý.
- Antimikrobiální nátěry s obsahem organických biocidních látek (nejčastěji na bázi kvartérních amonných sloučenin, triclosanu, Zinc pyrithionu, polyhexamethylen biguanidinu a dalších aktivních látek). Hygienické nátěry s organickými biocidy jsou jak na vzduchu schnoucí, vypalovací i práškové nátěrové hmoty. Sortiment aktivních látek je široký a jejich použití je regulováno. Jejich společným rysem je selektivní, krátkodobé působení a někdy mohou negativně ovlivnit vlastnosti konečných nátěrů. Známé moderní obchodní přípravky jsou Microban, Ultra-Fresh, Byotrol, HaloShield.
- Nátěry s obsahem stříbra či kovové mědi. Rozšířené je používání Ag uloženého na porézním materiálu jako jsou zeolity či speciální skla. Používají se obchodní přípravky AgION, Nanozid, Biocote, Nanosilver a další.
- Organické polymery s reaktivními antibaktericidními skupinami. V této oblasti se výzkumně velmi intenzivně pracuje, ale obchodních produktů je jenom poskromnu (fy, Arch Chemicals, AM Coatings, Degussa).

- Zapouzdřené účinné látky v mikro/nano kapsulích. Mohou to být organické biocidy, enzymy i třeba hydroxid vápenatý (Caliwel, BioSwitch, BioBlock).
- Antimikrobiální nátěry na bázi fotokatalytických oxidů kovů, zejména  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{ZnO}$ ,  $\text{CdS}$ ,  $\text{WO}_3$  a další vhodné materiály.

### 2.2.2. Trh antimikrobiálních nátěrů

Hodnota, v současné době prodávaných antimikrobiálních nátěrů, není ani přibližně odhadnutelná. Jediný odhad spotřeby hygienických nátěrů byl zjištěn ve Velké Británii za rok 2009, kde hodnota spotřeby dosáhla výše 14,5 mil. £ a růst se odhaduje na 5-6 % ročně, což je v oblasti nátěrových hmot velmi vysoký růst. Existuje řada specializovaných firem, které nabízejí tyto nátěry jak pro povrchovou úpravu silikátových materiálů, tak i pro kovové substráty zařízení a přístrojů, pro impregnaci textilií a pracovních pomůcek. Jsou to firmy většinou specializované na některé úzce zaměřené aplikace, jako jsou potřeby pro zdravotnictví, na úpravu vody, někteří výrobci biocidů ale také menší začínající firmy. Charakteristika firem nabízejících hygienické nátěry je různorodá, jak je zřejmé z jejich možných aplikací.

V roce 2013 se mezi specializované firmy řadily např.:

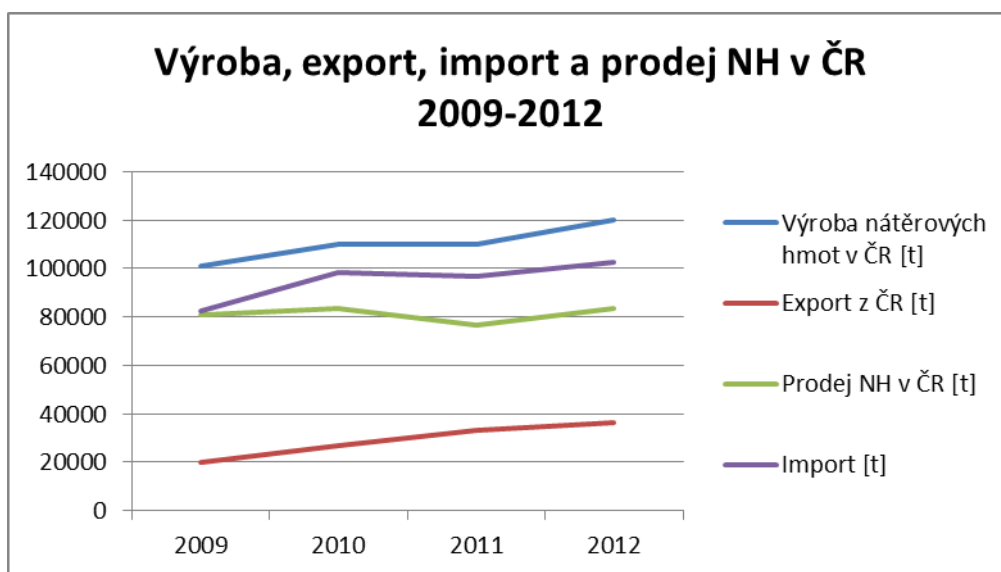
- a) Sureshield Coatings Company nabízející materiály pro povrchovou úpravu kovů.
- b) Pentagon Plastics nv, nabízející elastomerní akrylové, styren/akrylové a polyurethan/akrylové antimikrobiální nátěry.
- c) Byotrol International.

Aplikace antimikrobiálních nátěrů může být různorodá:

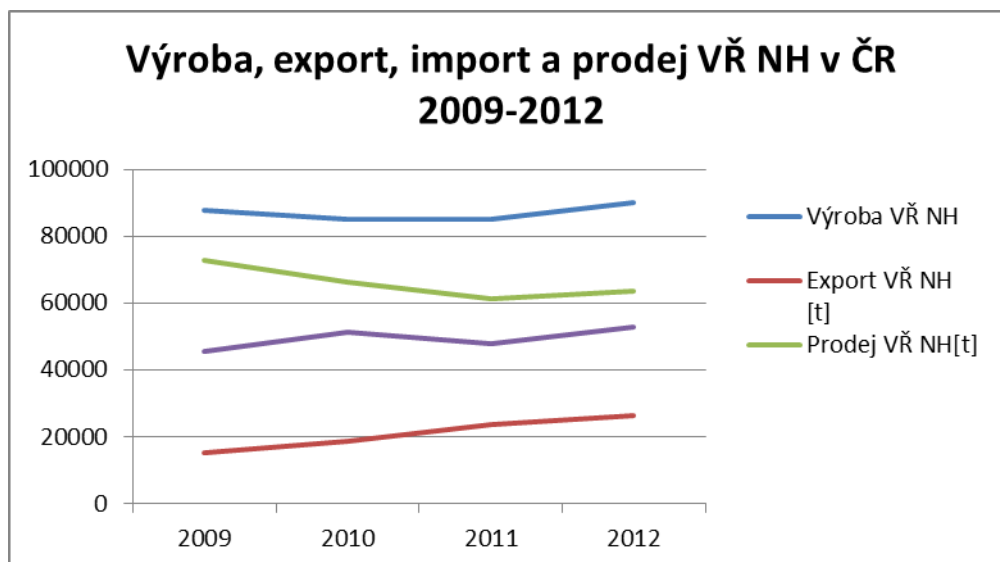
Jedná se o ochranu interiéru v domácnostech, kam patří antimikrobiální nátěry zdí, podlahy nebo laky na nábytek, zařízení kuchyní a koupelen, nebo hračky pro děti. Patří sem ochrana budov proti zelenání fasád, střech a výskytu plísní, a dále také ochrana dřeva. Kromě domácností jsou dalšími vhodnými objekty pro použití hygienických nátěrů zdravotnická a lékařská zařízení; farmaceutické provozovny; výrobní a prodejny potravin a nápojů; školy; domovy seniorů; plavecké bazény, tělocvičny a jiná sportovní centra; vodárenská zařízení; místa určená k likvidaci odpadů; veterinární a zvířecí chovy nebo vojenská zařízení.

### 2.2.3. Situace na trhu s nátěrovými hmotami

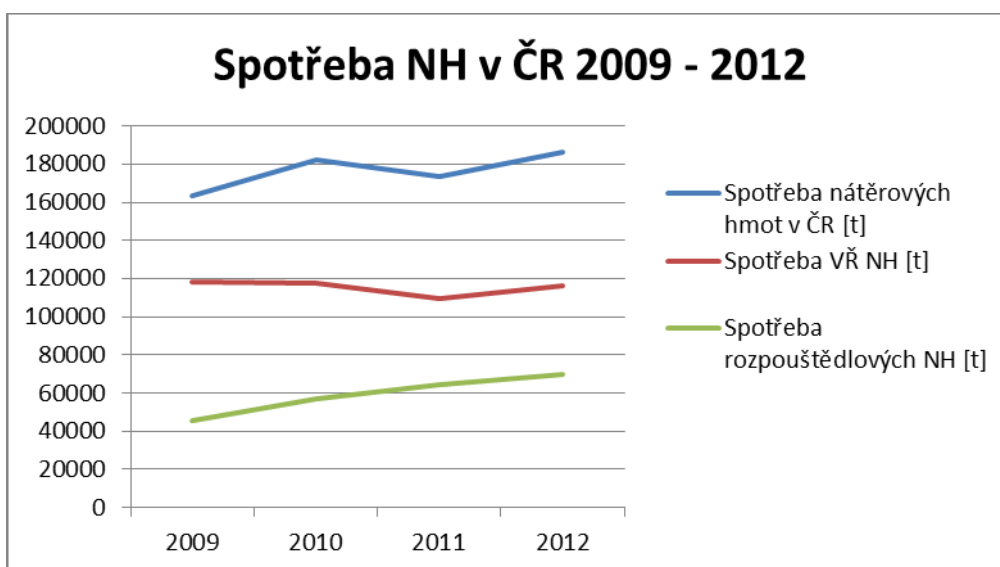
Současná velikost českého trhu s nátěrovými hmotami činí cca 186 000 tun a spotřeba nátěrových hmot na jednoho obyvatele tedy je více než cca 18 kg a je srovnatelná se spotřebou nátěrových hmot na trhu západoevropských zemí. Z uvedených obrázků je patné, že spotřeba nátěrových hmot po období mírného poklesu opět začala růst. Pozitivním ukazatelem je vzrůstající export. Dominantní je trh s VŘ nátěrovými hmotami.



**Graf č. 1:** Výroba, export, import a prodej nátěrových hmot v České republice v letech 2009 - 2012 (údaje převzaty ze závěrečné zprávy rok 2013 Synpo a.s.)

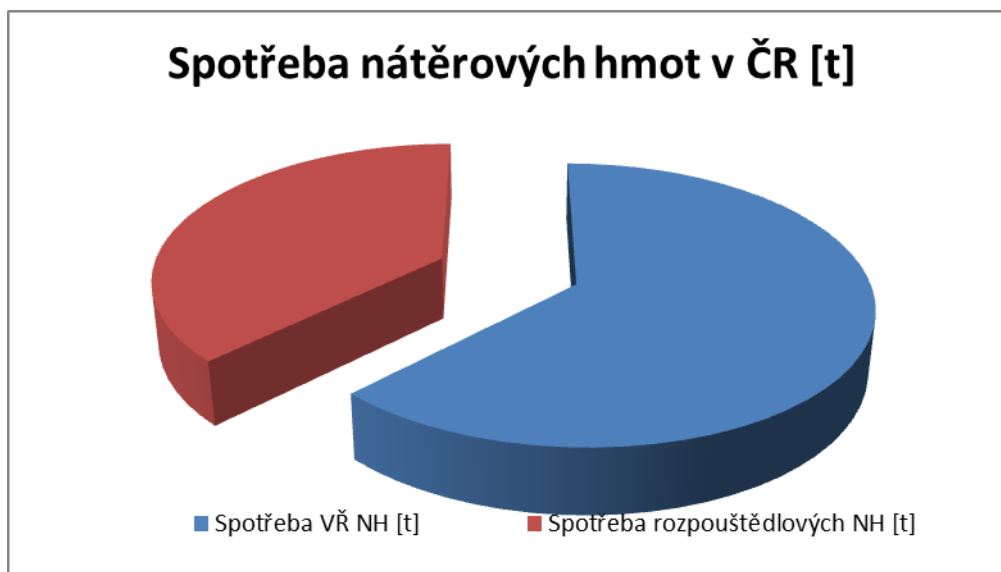


**Graf č. 2:** Výroba, export, import a prodej vodou ředitelných náterových hmot v České republice v letech 2009 - 2012 (údaje převzaty ze závěrečné zprávy rok 2013 Synpo a.s.)



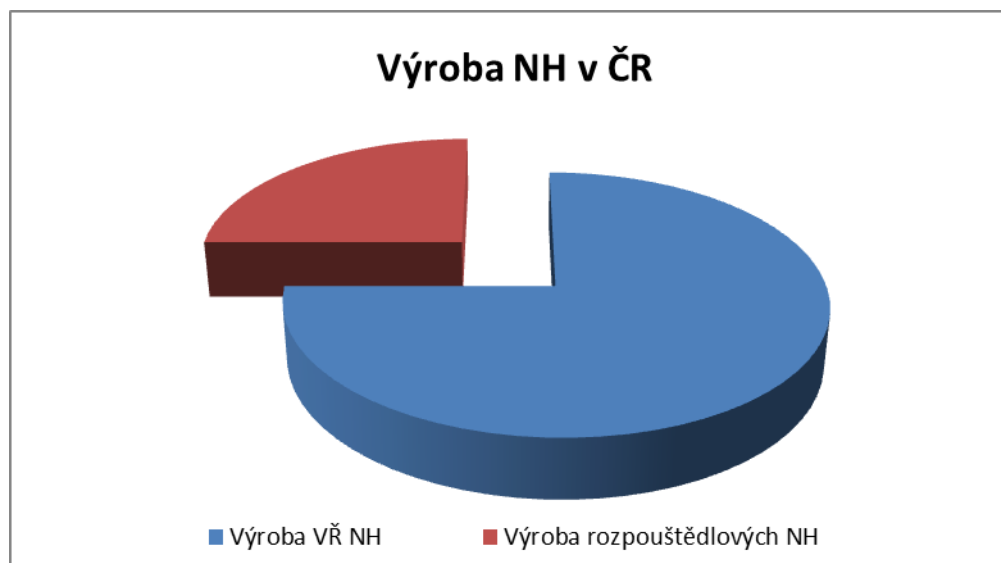
**Graf č. 3:** Spotřeba náterových hmot v České republice v letech 2009 - 2012 (údaje převzaty ze závěrečné zprávy rok 2013 Synpo a.s.)

Dominantní místo na trhu náterových hmot mají vodou-ředitelné náterové hmoty. Z následujícího obrázku je patrný rozdíl mezi spotřebou vodou-ředitelných (VŘ) a rozpouštědlových náterových hmot (NH) v ČR.



**Graf č. 4:** Poměr spotřeby vodou ředitelných a rozpouštědlových nátěrových hmot v České republice v roce 2012 (údaje převzaty ze závěrečné zprávy rok 2013 Synpo a.s.)

Výroba vodou-ředitelných nátěrových hmot (NH) činila v roce 2012 – 90 000 tun.



**Graf č. 5:** Poměr výroby vodou ředitelných a rozpouštědlových nátěrových hmot v České republice v roce 2012 (údaje převzaty ze závěrečné zprávy rok 2013 Synpo a.s.)

Přesnou spotřebu biocidně aktivních látek nelze získat, ale pro představu lze uvést, že jen v roce 2012 ve firmě Momentive byla spotřeba biocidně účinných aditiv 50 t. Speciální nátěrové hmoty s antimikrobiálními vlastnosti mohou zaujímat v oblasti VŘ



NH 10% trhu. V tomto případě dávkování biocidně účinných látek je na úrovni 3 hm%. Z tohoto údaje lze opět predikovat tržní obrát 10M Kč/rok.

## **2.2.4. Výběr barev s antimikrobiálním účinkem na českém trhu**

### **2.2.4.1. Hygienické barvy nabízené na českém trhu**

V této kapitole uvádím příklady vybraných barev s antibakteriálními a fungicidními účinky, které jsou v současnosti dostupné na českém trhu. Uvedené ceny jsou s DPH, platné ke dni 17. 10. 2013. Pro porovnání cen s obvyčejnou bílou malířskou barvou bude v ideálním případě použita barva od stejného výrobce jako daná antibakteriální barva.

### **2.2.4.2. Barvy s fungicidním účinkem**

#### **1. Název:** *Remal protiplísňový*

**Výrobce:** BARVY A LAKY TELURIA, s. r. o.

**Složení:** Směs bílého pigmentu, plniv, aditiv a speciálních fungicidních látek dispergovaná ve vodě s přidavkem vodné disperze makromolekulárních látek.

**Proti čemu účinkuje:** Proti růstu plísní např. *Penicillium glaucum*, *Chaetomium globosum*, *Aspergillus niger*, *Alternaria tenuis*, *Aureobasidium pullulans*, *Sclerotophora pityophila*. Účinnost je též proti houbám, kvasinkám, řasám a bakteriím.

**Způsob účinku:** Účinná látka 3-jód-2-propynyl-N-butylkarbamát - 0,33 % hmot.

**Cena obvyčejné barvy:** Jednokilogramové balení bílé barvy Remal standard cenově vyjde na 31 Kč [16].

**Cena této barvy:** Nejmenší dostupné balení, 1 kg stojí 58,90 Kč [17]. Balení o hmotnosti 5 kg stojí 230 Kč, což odpovídá ceně 46 Kč za 1 kg [18]. Dražší o 27,90 Kč, procentně o 90 %.

#### **2. Název:** *Remal aktiv*

**Výrobce:** BARVY A LAKY TELURIA, s. r. o.

**Složení:** Směs bílého pigmentu, speciálních nanočástic a fungicidních látek, plniv a aditiv dispergovaná ve vodě a vodní disperzi makromolekulárních látek.

**Proti čemu účinkuje:** Odolnost barvy byla odzkoušena např. na plísně: *Penicillium chrysogenum*, *Aspergillus niger* a bakterie *Escherichia coli* a *Staphylococcus aureus*.

**Způsob účinku:** Nanočástice oxidu zinečnatého podléhají v přítomnosti UV záření fotokatalytickým reakcím a v důsledku toho napomáhají jednak tzv. samočisticímu efektu, kdy je povrch odolný proti rozvoji organických nečistot, ale také zamezují růstu a rozvoji znečišťujících organických látek (např. bakterie, plísně apod.) na povrchu nátěru. Tato malířská barva byla testována na antimikrobiální odolnost na vybrané mikroorganismy [19].

**Cena obyčejné barvy:** Viz Remal protiplísňový.

**Cena této barvy:** Balení o hmotnosti 7,5 kg stojí 1 519 Kč [20]. Cena v přepočtu na 1 kg činí 202,50 Kč, proti obyčejné barvě o 171,50 Kč, procentně o 553 % více.

### **3. Název:** *Primalex mykostop*

**Výrobce:** Primalex a. s.

**Složení:** Vodná suspenze různých druhů plniv (kaolín, vápenec, mastek) a titanové běloby s přídavkem organické disperze a aditiv.

**Proti čemu účinkuje:** Fungistatický účinek proti plísním.

**Způsob účinku:** Účinné látky 2-oktyl-2H-isothiazolin-3-on a Carbendazim (ISO).

**Cena obyčejné barvy:** Primalex standard 4 kg stojí 115 Kč [21], 1 kg v hodnotě 28,75 Kč.

**Cena této barvy:** Nejmenší dostupné balení, 1 l, hmotnost 1,6 kg stojí 149 Kč, v přepočtu na 1 kg je to 93,13 Kč. Balení 4 kg stojí 299 Kč [22], za kilogram 74,75 Kč. Oproti 4 kg balení běžné barvy dražší o 46 Kč, procentně o 160 %.

### **4. Název:** *Datakryl protiplísňový*

**Výrobce:** Detecha, chemické výrobní družstvo

**Složení:** Neuvedeno

**Proti čemu účinkuje:** Preventivní ochrana proti plísním a houbám.

**Způsob účinku:**

**Cena obyčejné barvy:** Vzhledem k tomu, že od firmy Detecha není k dispozici obyčejná malířská bílá barva, srovnání je provedeno s barvou Primalex standard (viz Primalex mykostop)

**Cena této barvy:** Nejmenší dostupné balení je 1,2 kg, stojí 116 Kč [23], tedy 96,67 Kč/kg. Oproti barvě Primalex standard je cena vyšší o 67,92 Kč/kg, což je 236 %.

#### 2.2.4.3. Barvy s antibakteriálním účinkem

1. **Název:** *Anti Bacterial Acrylic Eggshell/ Matt* - Antibakteriální pololesklá / matná barva vodou ředitelná

**Výrobce:** PPG Architectural Coatings UK

**Distributor pro ČR:** Primalex a. s.

**Složení:** Na bázi akrylátové pryskyřice. Více informací neuvedeno.

**Proti čemu účinkuje:** Podle výrobce zabraňuje množení MRSA, Escherichia coli a dalších 150 kmenů bakterií.

**Způsob účinku:** Na bázi kationtů stříbra.

**Cena obvyčejné barvy:** Viz primalex mykostop

**Cena této barvy:** Nejběžnější balení je 5 l, což při průměrné hustotě 1,16 kg/dm<sup>3</sup> odpovídá hmotnosti 5,8 kg. Jeho cena je 999 Kč [24], což je cena 172 Kč/kg. Proti 4 kg balení Primalexu standard rozdíl 143,25 Kč/kg, což je 498 %.

2. **Název:** *Protectam FN2®*

**Výrobce:** Advanced Materials-JTJ s.r.o.

**Složení:** Vodná suspenze povrchově neupraveného oxidu titaničitého a anorganických pojiv

**Proti čemu účinkuje:** Organické nečistoty, viry, bakterie a další mikroorganismy

**Způsob účinku:** Využívá fotokatalytického účinku oxidu titaničitého, který při působení UV záření působí jako oxidační činidlo a tím odstraňuje nečistoty.

**Cena barvy:** Nejmenší prodávané balení je 1 l, cena balení je 1600 Kč [25].

#### 2.2.4.4. Barvy s antibakteriálním a fungicidním účinkem

1. **Název:** *Steracryl Antibacterial Scrubbable Matt*

**Výrobce:** Crown Paints

**Distributor pro ČR:** ADEX, s. r. o.

**Složení:** Neuvedeno

**Proti čemu účinkuje:** Účinek proti bakteriím MRSA, E. Coli, Salmonella a plísním.

**Způsob účinku:** Na bázi kationtů stříbra.

**Cena obvyčejné barvy:** Nedostupné

**Cena této barvy:** Nedostupné

2. **Název:** *Actin H premium*

**Výrobce:** POLYTEX, spol. s r.o.

**Složení:** Neuvedeno.

**Proti čemu účinkuje:** Antibakteriální proti *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis*, *Escherichia coli*, *Acinetobacter*, *Bacillus*, *Klebsiella*, *Listeria monocytogenes*, *Enterobacter aerogenes*, *Proteus*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Salmonella*, *Serratia*, *Shigella*, *Enterococcus species*.

Fungicidní proti *Aspergillus*, *Aureobasidium*, *Candida*, *Gladosporium*, *Fusarium*, *Mucor*, *Penicilium*, *Rhizopus*, *Stachybotrys*, *Trichoderma*

**Způsob účinku:** Na bázi kationtů stříbra.

**Cena obvyčejné barvy:** Standartní bílá barva Actin I se prodává za 504 Kč v balení 7 kg [26], což je cena 72 Kč/kg.

**Cena této barvy:** Nejmenší prodávané balení je 5 kg, jeho cena činí 1230 Kč, cena za 1 kg je 246 Kč. Oproti obvyčejné bílé barvě je cena vyšší o 174 Kč, nárůst o 242 %.

### 3. **Název:** *Final l.s. Ag+*

**Distributor:** Oprávněný distributor pro ČR - THERMO INDUSTRY, a.s.

**Složení:** Směs plniv a pigmentů ve vodní styrenakrylátové disperzi s přísadou aditiv a aktivních sloučenin stříbra

**Proti čemu účinkuje:** Zabraňuje růstu kolonií mikroorganismů.

**Způsob účinku:** Účinná látka chlorid stříbrný: 2,454 g/kg.

**Cena obvyčejné barvy:** Viz primalex mykostop

**Cena této barvy:** Balení 4 kg stojí 403 Kč, cena za 1 kg je 100,75 Kč. Proti bílé barvě Primalex standard je cena vyšší o 72 Kč, což je rozdíl 250 %.

### 4. **Název:** *Indeco W*

**Výrobce:** Deutsche Amphibolin-Werke von Robert Murjahn Stiftung & Co KG

**Distributor pro ČR:** Caparol s.r.o.

**Složení:** Polyvinylacetátová disperze, oxid titaničitý, křemičitany, voda, aditiva, konzervační prostředky.

**Proti čemu účinkuje:** Proti plísním a bakteriím

**Způsob účinku:** Neuveden

**Cena obvyčejné barvy:** Bílá barva Malerit E. L. F., balení 2,5 l o hustotě 1,5 g/cm<sup>3</sup>, tedy 3,75 kg stojí 332 Kč, za 1 kg 88,53 Kč

**Cena této barvy:** Nejmenší balení je 2,5 l, hustota barvy je 1,5 g/cm<sup>3</sup>, balení tedy obsahuje 3,75 kg barvy, jeho cena je 479 Kč [27], což znamená 127,73 Kč/kg. Oproti barvě Malerit E. L. F. je cena vyšší o 39,20 Kč/kg, tedy o 44 %.

### **2.2.5. Barvy vytipované pro sol s antibakteriálními účinky**

**Název:** *Remal color*

**Výrobce:** Barvy a laky Teluria s. r. o.

**Složení:** Směs pigmentů, plniv, aditiv, fungicidních látek, derivátu celulózy a vodné disperze makromolekulárních látek.

**Cena:** Nejmenší dostupné balení 4 kg stojí 203 Kč, což je 50,75 Kč/kg

**Název:** *Remal vinyl báze*

**Výrobce:** Barvy a laky Teluria s. r. o.

**Složení:** Směs bílého pigmentu, plniv, aditiv, fungicidních látek, derivátu celulózy a vodní disperze makromolekulárních látek.

**Cena:** Nejmenší dostupné balení je 0,8 kg v ceně 96,49 Kč, což je 120,61 Kč/kg [28]. Cena 4 kg balení je 310,07 Kč [29], což odpovídá 77,52 Kč/kg [29].

**Název:** *Remal vinyl 4 roční období*

**Výrobce:** Barvy a laky Teluria s. r. o.

**Složení:** Směs pigmentů, plniv, aditiv, fungicidních látek, derivátu celulózy a vodní disperze makromolekulárních látek.

**Cena:** Balení o hmotnosti 4,2 kg je dostupné za cenu 545,51 Kč [30], za 1 kg je to 129,88 Kč.

Pozn.: Barev typu Remal vinyl je mnoho, použito bude více odstínů.

**Název:** *Remal profi*

**Výrobce:** Barvy a laky Teluria s. r. o.

**Složení:** Směs pigmentů, plniv, aditiv, fungicidních látek, derivátu celulózy a vodní disperze makromolekulárních látek.

**Cena:** Nejmenší dostupné balení je 1 kg, cena 71,30 Kč [31].

**Název:** *Primalex standard bílý*

**Výrobce:** Primalex a. s.

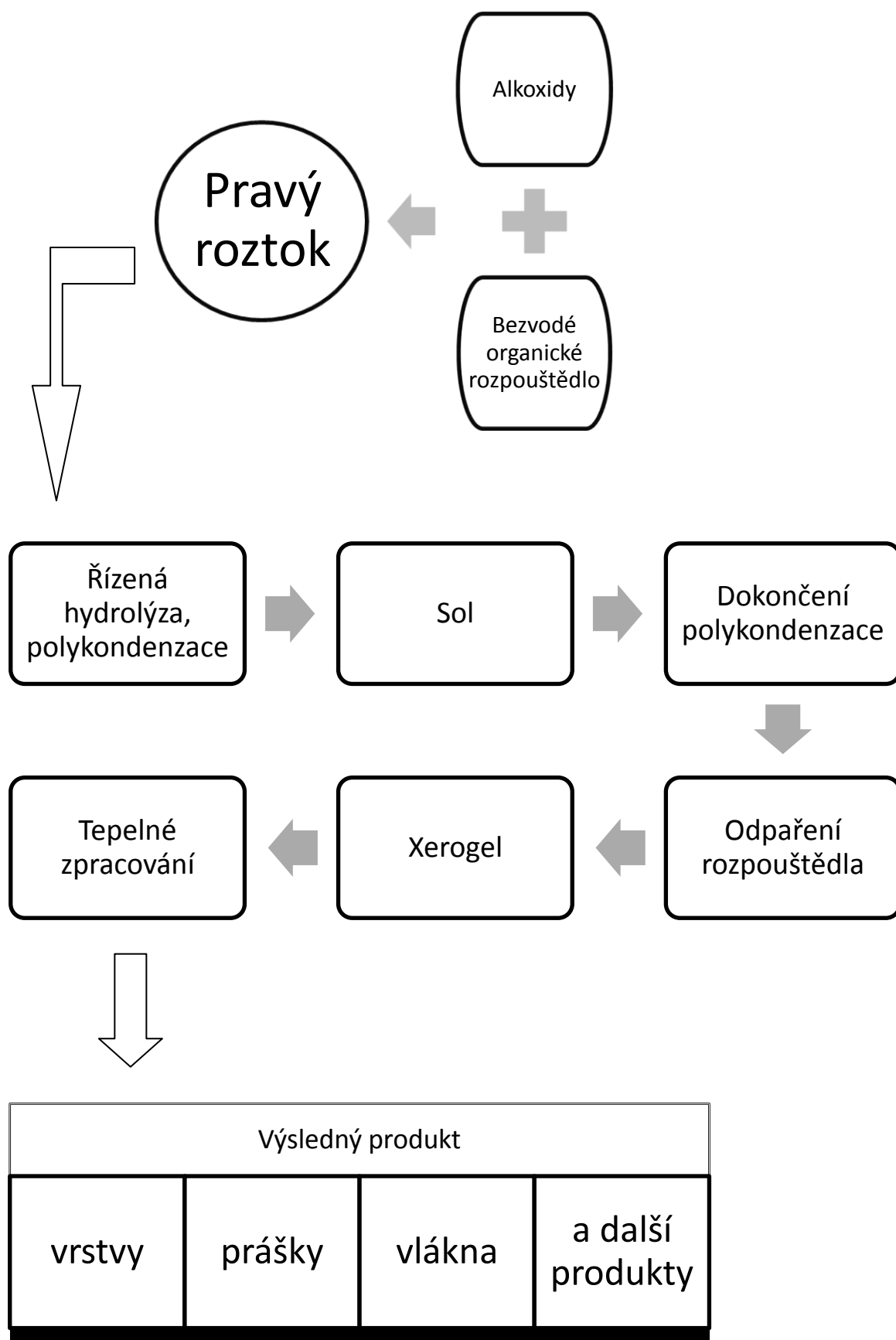
**Složení:** Vodná suspenze kaolinu, křídý, karboxymethylcelulozy a chemických aditiv.

**Cena:** Balení o hmotnosti 4 kg stojí 115 Kč [21], 1 kg vyjde na 28,75 Kč.

### 2.3. Sol-gel metoda

Pojem sol znamená poměrně málo koncentrovaný koloidní roztok, který je za určitých podmínek relativně stabilizovaný. Kolem jednotlivých koloidních částic dojde k solvataci molekulami rozpouštědla, čímž se znesnadňuje kontakt mezi koloidními částicemi a sol se tím stabilizuje. Při změně podmínek (například teploty nebo pH) v systému, která vede k destabilizaci solu a nastane reakce mezi koloidními částicemi za vzniku gelu, trojdimenzionální prostorové pevné struktury v kapalném prostředí, která má stálý tvar. Síť gelu je tvořena spojováním disperzních částic vlivem fyzikálních a chemických sil. Přestože je disperzní prostředí kapalné, mají gely díky existenci sítě mechanické vlastnosti tuhého stavu [32]. Když odpařením odstraníme rozpouštědlo, vznikne takzvaný xerogel, což je porézní tuhý materiál, kde místa předtím obsazená rozpouštědlem jsou nyní vyplněná vzduchem.

Metoda sol-gel by se dala charakterizovat homogenizací výchozích složek na roztok, který je převeden na sol a poté na gel za zachování jejich homogenity. Běžně je ovšem termín sol-gel používán i pro podobné postupy, kde dochází k homogenizaci roztoků, ale gelová fáze se neobjevuje [33]. Postupy přípravy se dají rozdělit na dvě skupiny. Jedna vychází z alkoxidů, druhá ze stabilizovaných vodných solů oxidů. Postup přípravy vycházející z alkoxidů je zobrazeno ve schématu 1. Metodou sol-gel se dají připravovat produkty ve formě vrstev, vláken, prášků, monolitů, gelů nebo filmů. Při přípravě sol-gel vrstev je důležitá povaha substrátu a jeho povrchových funkčních skupin. Především se jedná o skupin  $-OH$ , neboť zajišťují dobrou přilnavost k substrátům také majícím na svém povrchu  $-OH$  skupiny.

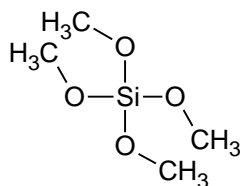


**Schéma 1:** Schéma zobrazující metodu sol-gel za použití alkoxidů jako výchozích látek (Zdroj: vlastní)



### 2.3.1. Suroviny využívané k metodě sol-gel

Obvyklými surovinami pro sol-gel metodu jsou alkoxidy, hybridní anorganicko-organické sloučeniny, kde je vodík odštěpený ze skupiny C – O – H nahrazen jiným prvkem, zpravidla kovem (ne vždy), který poskytne elektron k vytvoření vazby C – O – M, kde M = Si, Al, Ti, Zr, P, Na a další. Na obrázku 7 je uveden příklad alkoxidu tetramethoxysilan, sloučenina vzniklá ze čtyř methoxy- zbytků a křemíku, který vystupuje jako centrální atom.



**Obrázek 7:** Tetramethoxysilan (Autor: Michal Špína, program ChemSketch)

Atomy se třemi až pěti valenčními elektrony dobře vyhovují jako centrální atomy pro alkoxidy, protože takový atom má na sobě vázány nejméně tři funkční skupiny, což umožňuje vznik rozvětvené sítě. Většina alkoxidů je dobře rozpustná v bezvodých organických rozpouštědlech. Používanými jsou například tetramethoxysilan nebo tetraisopropyl titanát. Dále se používají i alkylalkoxysilany, kde jsou přítomny také nehydrolyzovatelné vazby S – C. Někdy jsou alkoxidy kovů z důvodu nižší ceny při přípravě nahrazeny solemi nebo komplexními sloučeninami kovů (acetylacetonáty).

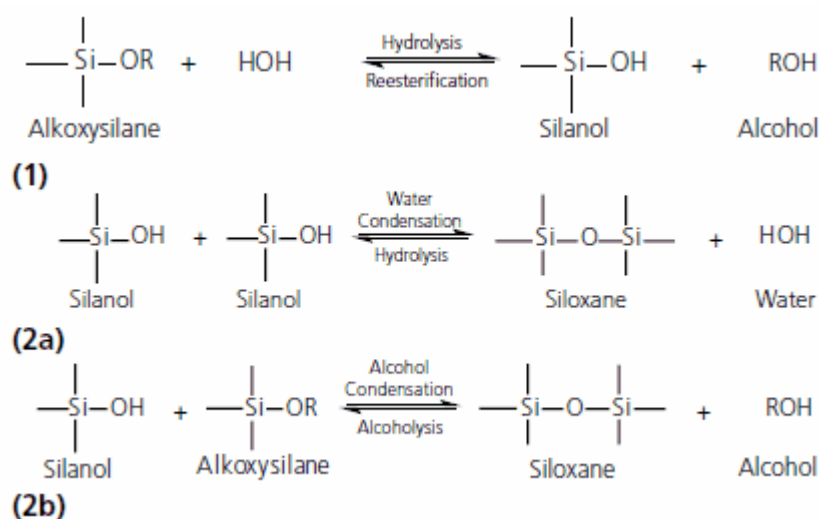
Alkylová skupina navázaná na centrálním atomu může být (například vinyl) sama také reaktivní, což může dát vedle anorganické sítě, vytvořené mezi centrálními atomy (například křemíku), vzniknout organické polymerní síti mezi alkylovými substituenty, což způsobí zhutnění xerogelu i bez tepelné úpravy.

Při postupu se stabilizovanými soly se často jako surovina používá draselné nebo sodné vodní sklo ( $\text{Na}_2\text{O} \cdot 7/2 \text{SiO}_2$ ), které se rozpustí ve vodě. Vzniklý roztok má zásaditý charakter s pH okolo 11 a jsou v něm obsaženy polymerní částice kyseliny tetrahydrogenkřemičité vzniklé polykondenzací. Při použití stabilizovaných solů je často vzniku gelu dosaženo změnou pH a také odpařením vody.

Jako rozpouštědla se v prvním postupu používají nejčastěji etanol nebo propan-2-ol (izopropylalkohol). U druhého postupu je rozpouštědlem voda.

### 2.3.2. Princip metody sol-gel

Při použití alkoxidů jako prekurzorů se používá bezvodé rozpouštědlo, aby se zamezilo nekontrolované hydrolyze před vznikem pravého roztoku. Když vznikne pravý roztok, můžeme přidat za působení kyselé nebo zásadité katalýzy vodu v přesně vypočteném molárním poměru  $k = [\text{H}_2\text{O}]/[\text{M}(\text{OR})_m]$ , kde  $m$  je počet skupin O-R navázaných na atomu M. Číslo  $k$  je průměrný počet vazeb M – O – R, který je hydrolyzován, při hydrolyze vazby vzniká M – O – H a molekula alkoholu ROH.



**Obrázek 8:** (1) hydrolyza alkoxysilanu na silanol a alkohol, (2a) kondenzace dvou molekul silanolu za vzniku vody jako vedlejšího produktu, (2b) kondenzace silanolu s alkoxidem za vzniku siloxanu a molekuly alkoholu [34].

Chemickým složením a změnou podmínek ve směsi se dá ovlivnit tvar a velikost vznikajících makromolekul v solu. Voda vzniklá kondenzací působí další hydrolyzu, a proto je občas obtížnější kontrolovat rychlostní konstantu reakce, což někdy brání kontrole mikrostruktury vzniklého produktu. V takových případech se používají bezvodá rozpouštědla [35]. V případě, že není hydrolyza alkoxidů kyselé nebo zásadité

katalyzována, vzniká obvykle práškový produkt oxidů, nebo nehomogenní gel. Je-li  $k$  při kyselé katalýze u alkokysilanů menší než 4, přednostně vznikají protáhlé vláknité makromolekuly. U zásadité katalýzy většinou během polykondenzace vzniknou trojdimenzionální makromolekuly.

Při přeměně solu v gel zpočátku molární hmotnost makromolekul rychle roste, poté sice růst trochu zpomalí, ale úplně se nezastaví a rostou dál, než dojde k úplnému pospojování do struktury, která se táhne skrz celé prostředí a vznikne gel. Gelaci provází strmý nárůst viskozity. Gelaci můžeme urychlit odpařováním rozpouštědla, zvýšením teploty a přívodem vlhkosti. Nastává však postupně také samovolně, i v dobře uzavřené nádobě. Převod vodných solů na gel se většinou uskutečňuje změnou pH směrem k neutrálnímu, přidáním kyseliny nebo zásady, někdy v plynné formě (amoniak pro zvýšení, oxid uhličitý pro snížení). Kromě jedné velké makromolekuly jsou v disperzním prostředí přítomny i zbytky monomeru a menší polymerní částice. Když gel necháme v klidu, nastává tzv. stárnutí gelu, což znamená navázání zbylých částic na hlavní makromolekulu a také vzájemné reakce různých částí základního skeletu, což má za následek zpevňování skeletu. Nakonec vznikne velmi porézní pevná fáze s póry vyplněnými kapalnou fází. Během procesu stárnutí se gel ve všech směrech zmenšuje a vytlačuje kapalinu ven z pórů za zachování svého tvaru (synereze), u tlustých vrstev na substrátu může synereze způsobit prasknutí vrstvy. Anorganicko-organické materiály mají díky organickým koncům tu výhodu, že jsou pružné, což snižuje riziko prasknutí [36]. Při odpařování kapaliny v pórech musí být překonány kapilární síly, které tam kapalinu drží a následkem toho se struktura smršťuje, pokud jsou tyto síly větší (největší u pórů s malým poloměrem) než pevnost gelu, potom struktura popraská. Je tedy potřeba vzniku tak malých pórů zabránit. Velikost pórů se dá zvýšit přidáním specifických organických látek, jako je formamid. U přípravy tlustých vrstev je výhodnější vytvořit je opakovaným nanesením více vrstev tenčích. Postupně se vysuší všechna kapalina až na xerogel, tento proces je doprovázený ztrácením pružnosti. Xerogely mají velký měrný povrch, který se snižuje slinováním, při kterém se hmota distribuuje tak, aby zmenšila svůj měrný povrch. Dojde k zalévání pórů, nejdříve těch nejužších. U velkých pórů může dojít ke ztrátě kontaktu s povrchem.

### **2.3.3. Použití metody sol-gel**

Metoda sol-gel se používá k přípravě různých typů produktů od prášků, přes vrstvy a vlákna až po monolity. Touto metodou se dá připravit řada speciálních materiálů s unikátními vlastnostmi, jako různé anorganicko-organické materiály, kde je anorganická síť kombinována s organickou. Organické části sítě nejen modifikují fyzikální vlastnosti, ale také často slouží jako nosiče k vázání různých funkčních složek, například atomů kovů. Materiály anorganicko-organické jsou přechodem mezi anorganickými skly a keramikou. Tyto materiály, jež se objevují pod zkratkami ORMOSIL, ORMOCER mohou mít speciální funkce, jako antikoroze, proti poškrábání, jako nešpinivá úprava nebo proti oděru [37].

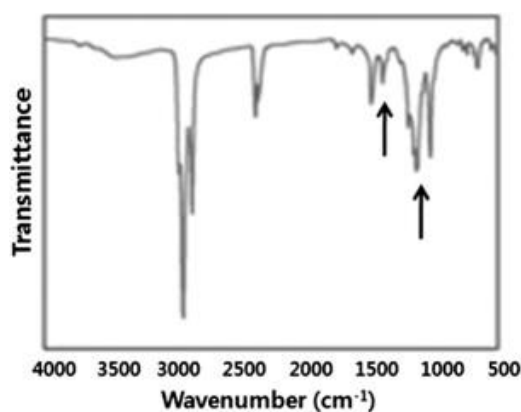
### **2.3.4. Metody nanášení**

Metod nanášení solu na substrát je mnoho, mezi důležité metody patří odstředování (spin-coating) nebo vytahování (dip-coating). Při technice vytahování je substrát ponořený do solu a za stálých podmínek postupně vytahován konstantní rychlostí ven. Při technice odstředování substrát rotuje podle osy kolmé na plochu nanášení, na střed rotace je nanášen sol, který je odstředivou silou distribuován na zbytek substrátu. Odstředování se dá použít pouze pro malé plochy. Dalšími technikami jsou například sprejování, nalévání nebo capillary-coating [33].

### 3. Použité experimentální metody

#### 3.1. Infračervená spektroskopie

IR spektroskopie je analytická technika založená na absorpci infračerveného záření molekulami látek. Tato metoda pracuje se zářením o vlnové délce přibližně 1 – 1000 nanometrů. Energie takovýchto fotonů k excitaci nedostačuje, a proto dojde pouze ke změně vibračního nebo rotačního stavu. IR spektroskopie je vhodná k analýze polárních vazeb, kde je účinnější než Ramanova spektroskopie, která se naopak lépe hodí pro vazby nepolární. Infračervená spektroskopie sleduje transmitanci (případně absorbanci) v závislosti na vlnočtu absorbovaného záření [38].



**Obrázek 9:** Příklad IR spektra nanočástic stříbra [39]

#### 3.2. Měření velikosti částic

Přístroj Zetasizer Nano měří velikost částic nejprve podle jejich Brownova pohybu za použití dynamického rozptylu světla (DLS). Částice jsou osvětleny laserem a měří se fluktuace v intenzitě rozptýleného světla. Záření rozptýlené částicemi vyvolává na detektoru vznik světlých a tmavých míst. Světlé body jsou způsobené konstruktivní interferencí, tmavé naopak destruktivní. Rychlost Brownova pohybu částic je nepřímo úměrná jejich velikosti, což znamená, že velké částice se pohybují pomaleji než ty malé. Přístroj Zetasizer je vybaven tzv. digitálním korektorem, který měří stupeň podobnosti mezi dvěma signály v určitých časových intervalech (jednotky milisekund), tím vzniká korelační funkce, která je v ideálním případě rovna 1. Rychlost korelace je přímou úměrou spojena s rychlostí částice.

### **3.3. Testy antibakteriálních a antimykotických účinků připravených vzorků**

Antibakteriální účinnost připravených vzorků byla testována na kmenech bakteriálních *Staphylococcus aureus* (CCM 4223) a *Escherichia coli* (CCM 2024). Antimykotická účinnost byla testována na kvasince rodu *Candida glabrata* (CCM 8270). Výše uvedené kmeny jsou standardními kmeny z České sbírky mikroorganismů Masarykovy univerzity v Brně. Kultivace byly provedeny na agarové půdě (krevní agary), zakoupené u firmy Bio-Rad spol s.r.o. Praha.

Testy byly provedeny postupem, který bude popsán v experimentální části této práce.

## 4. Experimentální část

### 4.1. Postup přípravy solu AD9

#### 4.1.1. Použitý materiál

**Tabulka 1:** Chemikálie použité k přípravě solu AD9

Chemikálie	Zkratka
<i>Izopropylalkohol 99,8% p. a.</i>	IPA
<i>Tetraethyl orthosilikát ≥99.0% (GC)TEOS</i>	TEOS
<i>3-(Trimethoxysilyl)propyl methakrylát ≥98%</i>	TMSPM
<i>Methyl methakrylát obsahující ≤30 ppm MEHQ jako inhibitoru, 99%</i>	MMA
<i>Luperox® A75, Benzoyl peroxid 75%, remainder water</i>	BPO
<i>Izopropoxid titaničitý ≥97%</i>	IPTI
<i>Dusičnan stříbrný ≥99.0%</i>	AgNO <sub>3</sub>
<i>Trihydrát dusičnanu měďnatého, p.a. 99-104%</i>	Cu(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·3H <sub>2</sub> O
<i>Hexahydrát dusičnanu zinečnatého, p.a., krystalický ≥99.0% (KT)</i>	Zn(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O
<i>Kyselina Dusičná 65% p.a.</i>	HNO <sub>3</sub>
<i>Destilovaná voda</i>	H <sub>2</sub> O
<i>Tlaková láhev s dusíkem</i>	N <sub>2</sub>

#### 4.1.2. Syntéza solu - postup

Dvouhrdlá varná baňka s kulatým dnem a teflonovým kroužkem byla pomocí svorky upevněna ke stojanu. Dvnitř baňky bylo vloženo teflonové míchadlo. Na baňku byl nasazen zpětný chladič upevněný svorkou ke stojanu. Poloha aparatury byla nastavena

tak, aby varná baňka byla ponořená v olejové lázni a nedotýkala se stěn. Na prostřední vývod chladiče byl umístěn přívod dusíku a do bočních vývodů hadice na přítok a odtok vody. Po dobu 3 minut procházel aparaturou dusík kvůli odstranění vzduchu. Používá se důkladně vysušené nádobí, aby se eliminovala jakákoliv vodní vlhkost při přípravě solu. Dusík v intervalech 10 – 30 s probublává aparaturou po celou dobu syntézy.

Nejprve se v baňce za stálého míchání při laboratorní teplotě v IPA rozpustí dusičnan stříbrný. Boční vývod baňky se uzavře septem a celá baňka je obalena alobalem, aby se zabránilo přístupu světla. Potom se do baňky přidá TEOS, TMSPM, MMA (dávkování injekční stříkačkou přes septum). Přisype se benzoylperoxid (BPO) a míchá se až do jeho úplného rozpuštění. Do Erlenmayerovy baňky byl připraven roztok IPA,  $\text{HNO}_3$  (2 mol/l), destilované vody,  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  a  $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , který byl intenzivně protřepáván. Tento roztok byl pomocí nálevky bočním hrdlem vpraven do varné baňky a pokračovalo se v míchání po dobu 30 minut, poté bylo stříkačkou skrz septum přidáno IPTI. Po dalších 25 minutách byla puštěna voda do chladiče a sol byl ohříván při teplotě 98 °C. Od první známky bodu varu solu byl var udržován dalších 35 minut za plynulého varu a stálého míchání. Po uplynutí této doby byla baňka odstavena z olejové lázně za stálého míchání. Potom byla baňka odstraněna z chladiče a dochlazena ve studené vodě. Po ochlazení na laboratorní teplotu byl sol přelit do tmavé vyčištěné a vysušené polyethylenové láhve [40].

## **4.2. Analýza solu**

### **4.2.1. Infračervená spektroskopie**

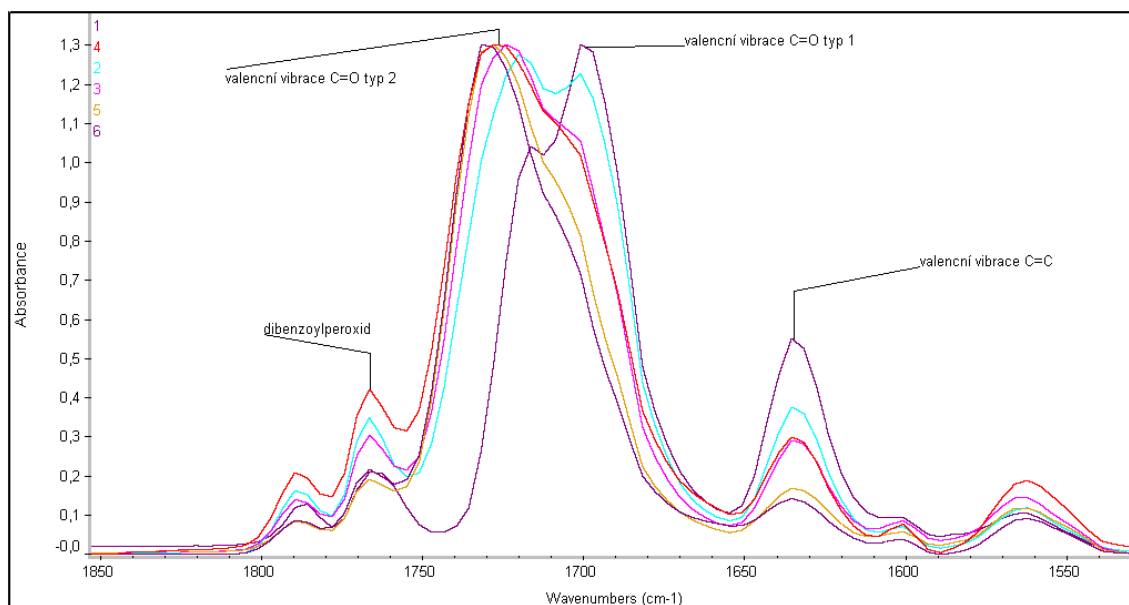
Byla provedena infračervená spektroskopie solu za účelem analýzy úbytku dvojných vazeb, což koresponduje s nalezením nejvhodnější doby polymerace. Zároveň byl sledován úbytek katalyzátoru dibenzoylperoxidu, který slouží k rozkladu dvojných vazeb a tím umožňuje radikálovou polymeraci.

Postup odběru vzorků solu:

Potom, co se sol začal vařit (teplota lázně udržována mezi 96 a 98 °C) byl odebírán v časech 5, 10, 15, 20, 25 a 35 minut od začátku varu pomocí injekční stříkačky s jehlou skrz septum. Odběry byly stříkačkou nakápnuty na hliníkové plíšky o rozměru 2x2 cm, sol byl na jejich povrch rovnoměrně rozprostřen do vrstvy o tloušťce několika



mikrometrů. Sušina byla analyzována infračervenou spektroskopií. Alobal je vhodný podklad pro odběry díky jeho rozdílnému charakteru oproti antibakteriální hybridní vrstvě, kde je jasné patrné rozhraní mezi vrstvou a podkladem.



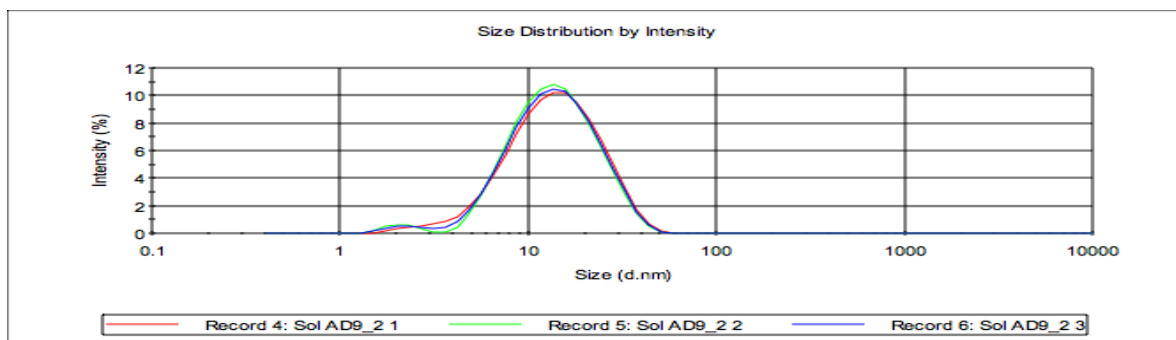
**Obrázek 10:** Infračervená spektroskopie solu AD9. Přiřazení křivek jednotlivým odběrům: (1) po 5 minutách varu, (2) po 10 minutách varu, (3) po 15 minutách varu, (4) po 20 minutách varu, (5) po 25 minutách varu, (6) po 35 minutách varu.

Změny v solu během varu byly proměřovány pomocí infračervené spektroskopie, což můžeme vidět na obrázku 10. Dochází k přechodu jednoho typu vazby C=O (karbonyl) na druhý typ vazby C=O, což ukazuje změnu konfigurace. Koncentrace dibenzoylperoxidu klesá, vzhledem k tomu, že dibenzoylperoxid štěpí dvojné vazby přítomné v methakrylátech. Postupně dochází k úbytku dvojných vazeb mezi uhlíky C=C, což indikuje probíhající polymeraci a postupný vznik organické sítě.

#### 4.2.2. Měření velikosti částic

Oxidační účinek solu na bakterie závisí na velikosti v něm obsažených kovových částic, neboť velké částice neúčinkují tak dobře jako částice menší s průměrem mezi 5 a 25 nm [14]. Důvodem je velký měrný povrch malých částic. Velikost nanočástic byla měřena

pomocí přístroje Zetasizer Nano ZS – ZEN3601 (Malvern). Průměrná velikost částic měřená dynamickým rozptylem světla se pohybovala mezi 11,47 – 11,51 nm. Metoda polohy maxim intenzity záření podle velikosti vykazala největší intenzitu záření 15,29 až 15,31 nm. Podle výsledků měření na Zetasizeru Nano můžeme říct, že velikost většiny nanočástic se pohybuje v rozmezí 11,47 a 15,31 nm.



**Graf č. 6:** Distribuce velikosti nanočástic podle intenzity detekovaného záření.

### 4.3. Výběr barev

Při přípravě experimentu byly zvoleny vodou ředitelné a rozpouštědly ředěné barvy dostupné na našem trhu, které byly svým složením vhodné ke kombinaci s antimikrobiálním solem. Pro porovnání antibakteriální a antimykotické účinnosti bylo zakoupeno několik barev s garantovanými antibakteriálními a antimykotickými účinky.

#### 4.3.1. Zvolené vodou ředitelné nátěrové hmoty

##### **Jupol Latex saten**

(Značeno Jupol latex bílý)

**Výrobce:** JUB a. s.

**Složení:** Vnitřní disperzní barva na základě vodní disperze polymerů, přísad, plniv a pigmentů.

**Cena:** Balení 2 l (2,72 kg) stojí 309 Kč, což je 113,6 Kč/kg (hustota 1,36 kg/dm<sup>3</sup>) [41,42].



**Obrázek 12:** Jupol Latex Saten [42]

##### **Balakryl PLASTY 0100 bílý**

(Značeno Balakryl bílý na plasty)

**Výrobce:** TRILAK Festékgyártó Kft.

**Složení:** Nedostupné

**Cena:** Balení 0,7 kg stojí 189 Kč, což je 270 Kč/kg.



**Obrázek 13:** Balakryl PLASTY 0100 bílý (Zdroj vlastní)

### **Levis Latex**

(Značeno Levis latex mat)

**Výrobce:** AKZO NOBEL DECORATIVE COATINGS – EXPORT DEPARTMENT,  
B-1800 VILVOORDE

**Cena:** Balení o objemu 0,75 l stojí 233 Kč, což při hustotě 1,36 kg/l, že 1 kg vyjde na 228 Kč.



**Obrázek 14:** Levis Latex (Zdroj vlastní)

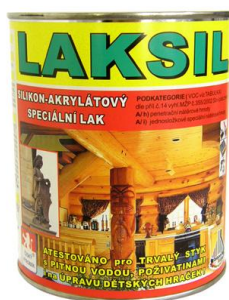
### **4.3.2. Zvolené rozpouštědlové nátěrové hmoty**

#### **LAKSIL bezbarvý lesklý**

(Značeno Laksil)

**Výrobce:** BIOPOL PAINTS, s. r. o.

**Cena:** Balení 0,7 kg vyjde na 254,95 Kč, což je 364,20 Kč/kg.



**Obrázek 15:** LAKSIL bezbarvý lesklý [43]

### **Lak U-1051 polyurethanový**

(Značeno Lak U-1051)

**Výrobce:** CHEMOLAK Trade, spol. s r.o

**Složení:** Roztok akrylátové pryskyřice, organických rozpouštědel s přidavkem aditiv a UV absorbérů [44].

**Cena:** Balení o hmotnosti 0,9 kg stojí 266 Kč, na 1 kg 295,50 Kč [45].

### **Johnstone's Polyurethane Varnish - Polyuretanový lak syntetický**

(Značeno Johnstone's)

**Výrobce:** PPG Architectural Coatings UK Limited

**Distributor pro ČR:** TRIGA COLOR, a. s.

**Složení:** Nedostupné

**Cena:** Balení 0,75 l (0,7 kg) se prodává za 335 Kč, což znamená 480 Kč/kg [46].



**Obrázek 16:** Johnstone's Polyurethane Varnish [47]

### 4.3.3. Tržně dostupné barvy s antibakteriální a antimykotickým účinkem

Pro porovnání účinku antibakteriálního solu jsem otestoval také 3 barvy s deklarovanou antibakteriální nebo antimykotickým účinností.

#### Jupol Citro

**Výrobce:** JUB a. s.

**Složení:** Barva vyrobená na základě vodní disperze polymerních pojiv.

**Proti čemu účinkuje:** Prevence proti plísním.

**Způsob účinku:** Neuvedeno.

**Cena:** Nejmenší dostupné balení, 2 l (hmotnost 3,18 kg) stojí 179 Kč [48], v přepočtu na 1 kg je to 56,30 Kč.



**Obrázek 17:** Jupol Citro [49]

#### Primalex mykostop

**Výrobce:** Primalex a. s.

**Složení:** Vodná suspenze různých druhů plniv (kaolín, vápenec, mastek) a titanové běloby s přídavkem organické disperze a aditiv.

**Proti čemu účinkuje:** Fungistatický účinek proti plísním.

**Způsob účinku:** Účinné látky 2-oktyl-2H-isothiazolin-3-on a Carbendazim (ISO).

**Cena:** Nejmenší dostupné balení, 1 l, hmotnost 1,6 kg stojí 149 Kč, v přepočtu na 1 kg je to 93,13 Kč.

#### Remal protiplísňový

**Výrobce:** BARVY A LAKY TELURIA, s. r. o.

**Složení:** Směs bílého pigmentu, plniv, aditiv a speciálních fungicidních látek dispergovaná ve vodě s přídavkem vodné disperze makromolekulárních látek.

**Proti čemu účinkuje:** Proti růstu plísní např. *Penicillium glaucum*, *Chaetomium globosum*, *Aspergillus niger*, *Alternaria tenuis*, *Aureobasidium pullulans*, *Sclerotophora pityophila*. Účinnost je též proti houbám, kvasinkám, řasám a bakteriím.

**Způsob účinku:** Účinná látka 3-jód-2-propynyl-N-butylkarbamát - 0,33 % hmot.

**Cena:** Nejmenší dostupné balení, 1 kg stojí 58,90 Kč [17].



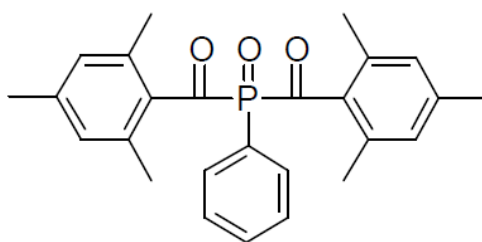
**Obrázek 18:** Remal protiplísňový, balení 1 kg [50].

## 4.4. Postup přípravy pokusu

### 4.4.1. Složení antibakteriální směsi

Výchozí směs byla připravena smícháním 250 ml solu AD9 a 122,8 ml 1 % roztoku fotoiniciátoru Irgacure 819, který urychluje polymeraci solu.

Irgacure 819 je fotoiniciátor sloužící k radikálové polymeraci látek s dvojnými vazbami jako jsou pryskyřice, která může být iniciována UV zářením nebo běžným světlem. Chemický název tohoto prostředku zní bis(2,4,6-trimethylbenzoyl)-phenylfosfinoxide. Používá se zejména do bezbarvých a bíle pigmentovaných nátěrových hmot a tenkých vrstev obecně. Vyrábí se ve formě bílého prášku, který se rozpouští v soustavě rozpouštědel v následujícím poměru pro 20 °C na 100 g roztoku: 14 g acetonu, 6 g butylacetátu, 3 g methanolu, 22 g toluenu, 9 g hexanediol diakrylátu (HDDA) a 3 g akrylátového oligomeru [51]. Dalším možným rozpouštědlem je 2-propanol.



**Obrázek 19:** Chemická struktura fotoiniciátoru Irgacure 819 [51]

### 4.4.2. Ředění antibakteriální směsi izopropylalkoholem

Sol AD9 byl naředěn v poměru 1:1, 1:5 a 1:10 s 2-propanolem (obsah vody 0,03 %) a přimíchán do vybraných druhů barev. Ředění bylo provedeno s následujícími objemy materiálu:

1:1 (100 ml solu + 100 ml IPA)      sol A

1:5 (25 ml solu + 125 ml IPA)      sol B

1:10 (20 ml solu + 200 ml IPA)      sol C



#### 4.4.3. Míchání solu s barvou

Do kelímku bylo naváženo 10 g barvy a 2,5 g nebo 5 g antibakteriální směsi (AD9, fotoiniciátor a IPA), podle tabulek níže. Po nadávkování obou složek byla barva s ředěným solem míchána plastovým míchadlem, než došlo k úplné homogenizaci. V případě potřeby byla u vodou ředitelných barev přidána destilovaná voda v takovém množství, aby bylo dosaženo co nejlepších nátěrových vlastností (dle doporučení výrobce). Po dosažení homogenizace byla barva natřena na vyčištěné sklo.

**Tabulka 2:** Jupol latex bílý

Jupol latex bílý			
Označení	Množství barvy [g]	Množství solu AD9 [g]	Doba polymerace UV-A [min]
5A	10	5	0
5A-10	10	5	10
5A-20	10	5	20
5A-30	10	5	30
5B	10	5	0
5B-10	10	5	10
5B-20	10	5	20
5B-30	10	5	30
5C	10	5	0
5C-10	10	5	10
5C-20	10	5	20
5C-30	10	5	30
12A	10	2,5	0
12A-10	10	2,5	10
12A-20	10	2,5	20
12A-30	10	2,5	30
12B	10	2,5	0
12B-10	10	2,5	10
12B-20	10	2,5	20
12B-30	10	2,5	30
12C	10	2,5	0
12C-10	10	2,5	10
12C-20	10	2,5	20
12C-30	10	2,5	30

**Tabulka 3:** Balakryl bílý na plasty

Balakryl bílý na plasty			
Označení	Množství barvy [g]	Množství solu AD9 [g]	Doba polymerace UV-A [min]
6A	10	5	0
6A-10	10	5	10
6A-20	10	5	20
6A-30	10	5	30
6B	10	5	0
6B-10	10	5	10
6B-20	10	5	20
6B-30	10	5	30
6C	10	5	0
6C-10	10	5	10
6C-20	10	5	20
6C-30	10	5	30
13A	10	2,5	0
13A-10	10	2,5	10
13A-20	10	2,5	20
13A-30	10	2,5	30
13B	10	2,5	0
13B-10	10	2,5	10
13B-20	10	2,5	20
13B-30	10	2,5	30
13C	10	2,5	0
13C-10	10	2,5	10
13C-20	10	2,5	20
13C-30	10	2,5	30

**Tabulka 4:** Levis latex mat

Levis latex mat			
Označení	Množství barvy [g]	Množství solu AD9 [g]	Doba polymerace UV-A [min]
7A	10	5	0
7A-10	10	5	10
7A-20	10	5	20
7A-30	10	5	30
7B	10	5	0
7B-10	10	5	10
7B-20	10	5	20
7B-30	10	5	30
7C	10	5	0
7C-10	10	5	10
7C-20	10	5	20
7C-30	10	5	30
14A	10	2,5	0
14A-10	10	2,5	10
14A-20	10	2,5	20
14A-30	10	2,5	30
14B	10	2,5	0
14B-10	10	2,5	10
14B-20	10	2,5	20
14B-30	10	2,5	30
14C	10	2,5	0
14C-10	10	2,5	10
14C-20	10	2,5	20
14C-30	10	2,5	30

**Tabulka 5:** Laksil

Laksil			
Označení	Množství barvy [g]	Množství solu AD9 [g]	Doba polymerace UV-A [min]
21B	10	5	0
21B-10	10	5	10
21B-20	10	5	20
21B-30	10	5	30

**Tabulka 6:** Lak U-1051

Lak U-1051			
Označení	Množství barvy [g]	Množství solu AD9 [g]	Doba polymerace UV-A [min]
22B	10	5	0
22B-10	10	5	10
22B-20	10	5	20
22B-30	10	5	30

**Tabulka 7:** Johnstone's polyurethane varnish

Johnstone's polyurethane varnish			
Označení	Množství barvy [g]	Množství solu AD9 [g]	Doba polymerace UV-A [min]
23B	10	5	0
23B-10	10	5	10
23B-20	10	5	20
23B-30	10	5	30

#### 4.4.4. Polymerace

Po natření barvy na sklo byly vzorky umístěny na filtrační papír a ponechány volně schnout. První skupina byla ponechána na běžném světle po dobu 24 hodin (vzorky značené bez pomlčky). Během schnutí barvy docházelo k polymeraci solu AD9 vyvolané působícím světlem. U Druhé skupiny vzorků byla provedena polymerace zářením UVA. Vzorky polymerované zářením UVA byly ponechány 30 minut na běžném světle, následně vloženy pod zdroj UVA záření na dobu uvedenou v tabulce a nakonec nechány 10 minut na vzduchu k vychladnutí a uloženy do krabice, aby se zamezilo přístupu světla.

#### 4.4.5. Použití tržně dostupných barev

Z důvodu porovnání antimikrobiálního účinku barev se solem byly otestovány také 3 komerčně dostupné barvy s deklarovanými antimikrobiálními účinky.

**Tabulka 8:** Tržně dostupné barvy použité k porovnání antibakteriální a antimykotické účinnosti.

Tržně dostupné barvy	
Název barvy	Označení
Jupol citro proti plísním	T11
Primalex mykostop	T21
Remal protiplísňový	T31

#### 4.5. Antibakteriální a antimykotické testy

Po připravení všech výše uvedených vzorků byly tyto vzorky zhodnoceny podle kvality nátěrových vlastností a případné míry redukce stříbrných kationtů uvnitř daných barev. Pro antibakteriální testy na kmeny *Staphylococcus aureus* a *Escherichia coli* byly vybrány u každé z barev 5; 6; 7; 12; 13; 14; 21; 22 a 23 od všech jejich poměrů ředění tři vzorky, a to vždy vzorek polymerovaný na běžném světle a vzorky polymerované 10 a 30 minut polymerovaný pod UVA. Dále byl pro každou barvu otestován standard, tedy samotná barva neobsahující antibakteriální sol.

K antimykotickým testům na plísní *Candida glabrata* byly vybrány pouze vzorky uvedené v tabulce 8 i s výsledky těchto testů.

##### 4.5.1. Postup testů

Od každého testovaného bakteriálního a plísňového kmenu bylo připraveno inokulum o koncentraci  $10^3$  CFU/ml. Pomocí automatické pipety bylo na každý testovaný (polymerovaný) vzorek nanášeno 300  $\mu$ l inokula. Vzorky byly přikryty, aby nedocházelo k odpařování fyziologického roztoku, ve kterém byly kmeny ředěny. Z inokula naneseného na vzorek bylo v intervalech po 30, 60, 90, 120 a 150 minutách odebíráno 10  $\mu$ l a nanášeno na krevní agar v Petriho misce. Kapka byla rozetřena (standardní metodou) po povrchu agaru. Miska byla uzavřena víčkem a vložena k inkubaci na 24 hodin do termostatu při teplotě 37,0 °C. Po uplynutí 24 hodin byly misky vytaženy z termostatu a byly spočítány kolonie na povrchu agaru. U plísně byla doba inkubace prodloužena na 48 hodin, což je standardní způsob doby inkubace plísňových kmenů.

#### 4.5.2. Výsledky bakteriálních a mykotických testů

**Tabulka 8:** Přehled vzorků testovaných na plíseň rodu *Candida glabrata*. Čísla uvedená ve sloupcích udávají počet plíšňových kolonií po 48 hodinách inkubace.

Candida glabrata 10 <sup>3</sup> CFU/ml					
Čas odběru [min]	30	60	90	120	150
7A-20	0	0	0	0	0
7B-20	0	1	0	0	0
7C-20	0	0	0	0	0
12A-20	0	0	0	0	0
12B-20	0	0	0	0	0
12C-20	0	1	0	0	0
14A-20	1	0	0	0	0
14B-20	0	0	0	0	0
14C-20	0	0	0	0	0
21B-20	0	0	0	0	0
22B-20	0	0	0	0	0
23B-20	0	0	0	0	0
T11	0	0	0	0	0
T21	0	0	0	0	0
T31	0	0	0	0	0

**Tabulka 9:** Porovnání poměrů bakteriální inhibice mezi upravenými vzorky a standardy. Čísla u standardů znamenají počet znovuoobnověných bakteriálních kolonií po 24 hodinách inkubace v termostatu.

Název kmene	Staphylococcus aureus			Escherichia coli		
	Standard	Vzorek	Procento inhibice	Standard	Vzorek	Procento inhibice
5A	1000	0	100	1000	0	100
5A-10	1000	1	99,9	1000	0	100
5A-30	1000	0	100	1000	0	100
5B	1000	0	100	1000	0	100
5B-10	1000	0	100	1000	1	99,9
5B-30	1000	0	100	1000	0	100
5C	1000	0	100	1000	0	100
5C-10	1000	0	100	1000	1	99,9
5C-30	1000	0	100	1000	0	100

**Tabulka 10:** Porovnání poměrů bakteriální inhibice mezi vzorky a standardy

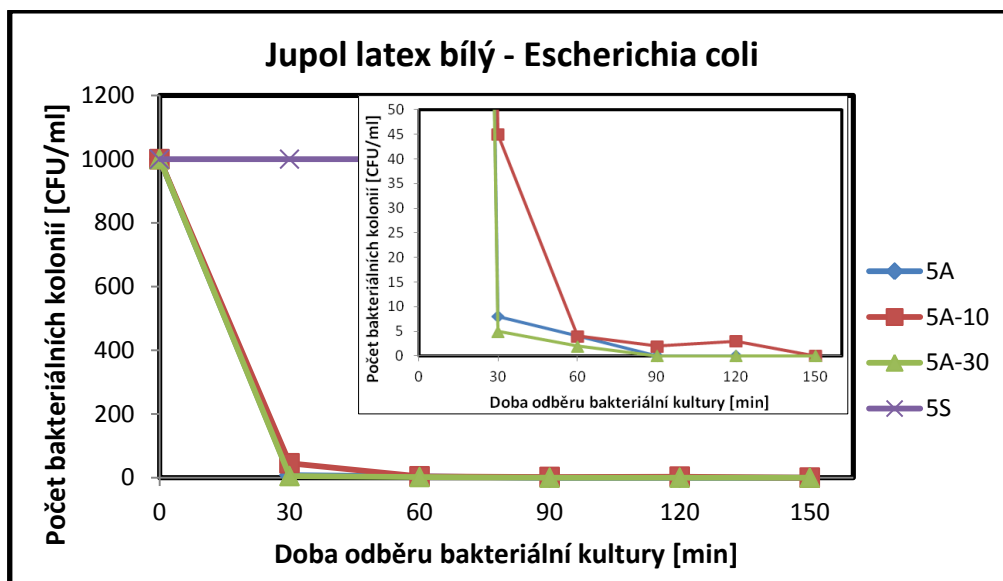
Název kmene	Staphylococcus aureus			Escherichia coli		
	Standard	Vzorek	Procento inhibice	Standard	Vzorek	Procento inhibice
6A	59	6	89,8	79	41	48,1
6A-10	59	6	89,8	79	23	70,9
6A-30	59	14	76,3	79	28	64,6
6B	59	6	89,8	79	26	67,1
6B-10	59	5	91,5	79	24	69,6
6B-30	59	3	94,9	79	25	68,4
6C	59	120	-103,4	79	34	57
6C-10	59	4	93,2	79	21	73,4
6C-30	59	3	94,9	79	26	67,1
7A	14	1	92,9	63	0	100
7A-10	14	1	92,9	63	0	100
7A-30	14	0	100	63	0	100
7B	14	1	92,9	63	0	100
7B-10	14	1	92,9	63	0	100
7B-30	14	1	92,9	63	0	100
7C	14	0	100	63	0	100
7C-10	14	0	100	63	0	100
7C-30	14	0	100	63	0	100
12A	1000	0	100	1000	1	99,9
12A-10	1000	1	99,9	1000	2	99,8
12A-30	1000	0	100	1000	1	99,9
12B	1000	0	100	1000	0	100
12B-10	1000	2	99,8	1000	0	100
12B-30	1000	0	100	1000	4	99,6
12C	1000	0	100	1000	0	100
12C-10	1000	2	99,8	1000	0	100
12C-30	1000	0	100	1000	0	100
13A	59	13	78	79	64	19
13A-10	59	12	79,7	79	32	59,5
13A-30	59	9	84,7	79	26	67,1
13B	59	11	81,4	79	26	67,1
13C	59	11	81,4	79	30	62
13C-10	59	12	79,7	79	34	57
13C-30	59	6	89,8	79	26	67,1

**Tabulka 11:** Porovnání poměrů bakteriální inhibice mezi vzorky a standardy

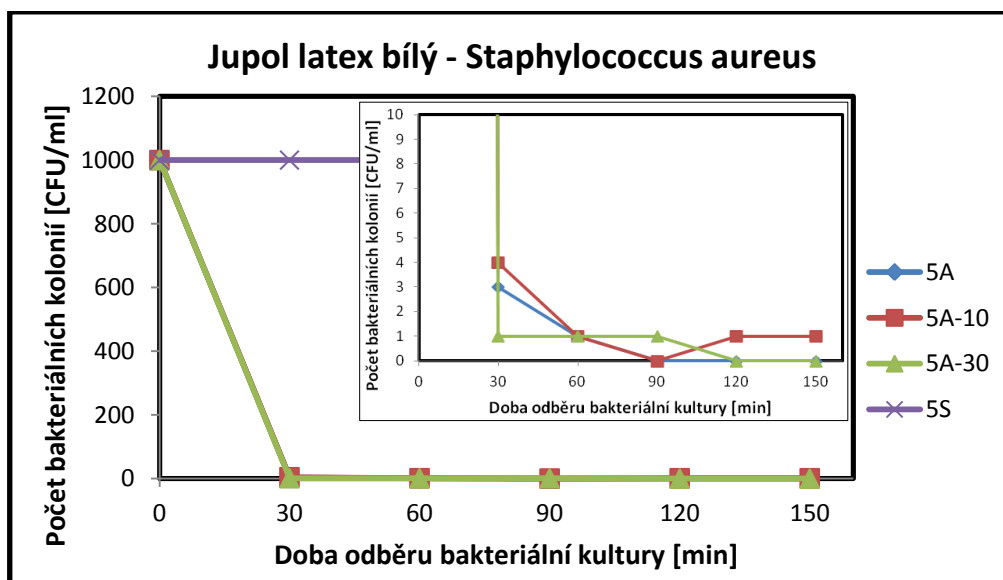
Název kmene	Staphylococcus aureus			Escherichia coli		
Označení	Standard	Vzorek	Procento inhibice	Standard	Vzorek	Procento inhibice
14A	14	1	92,9	63	0	100
14A-10	14	3	78,6	63	0	100
14A-30	14	2	85,7	63	0	100
14B	14	6	57,1	63	...	...
14B-10	14	0	100	63	0	100
14B-30	14	1	92,9	63	0	100
14C	14	3	78,6	63	1	98,4
14C-10	14	0	100	63	0	100
14C-30	14	2	85,7	63	0	100
21B	1000	6	99,4	1000	16	98,4
21B-10	1000	8	99,2	1000	21	97,9
21B-30	1000	5	99,5	1000	31	96,9
22B	36	25	30,6	60	20	66,7
22B-10	36	8	77,8	60	13	78,3
22B-30	36	6	83,3	60	31	48,3
23B	76	11	85,5	61	3	95,1
23B-10	76	3	96,1	61	0	100
23B-30	76	5	93,4	61	0	100



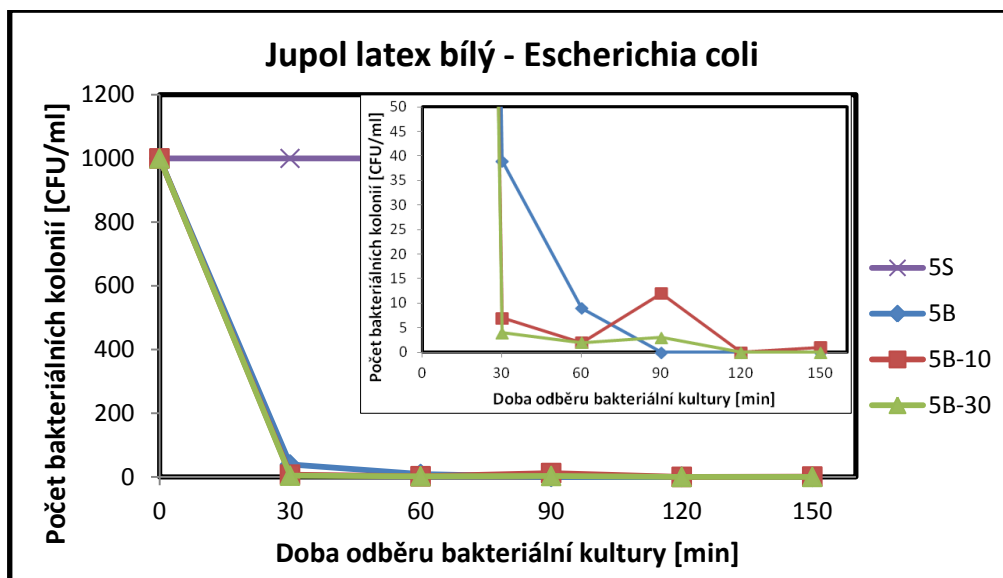
Grafy č. 7 až 50 znázorňují inhibici bakteriálních kmenů *Staphylococcus aureus* a *Escherichia coli* v závislosti na čase odběru inokula ze vzorku.



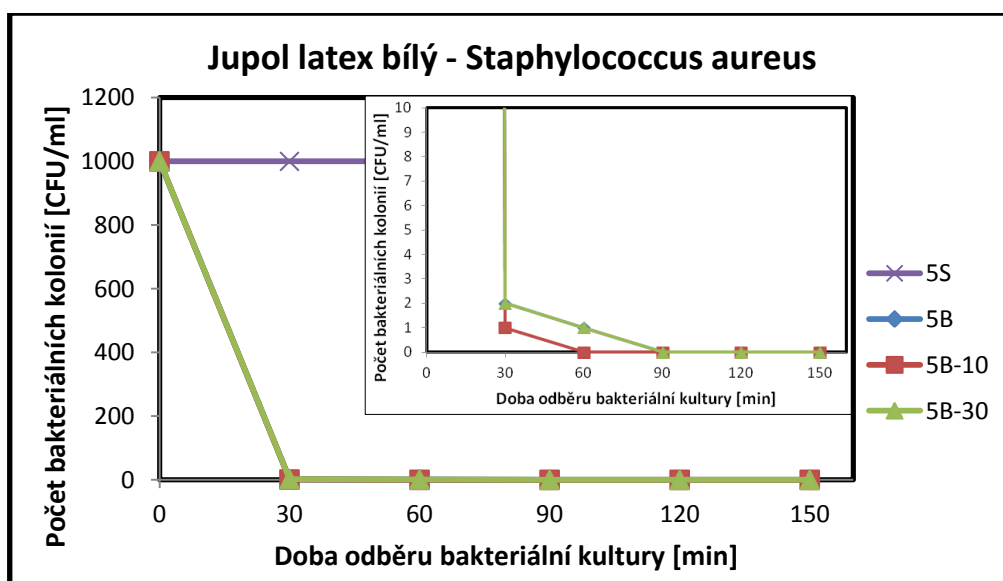
**Graf č. 7:** U vzorků s antibakteriálním solem nastává bakteriální inhibice ve 30. minutě, počet bakteriálních kolonií se pohybuje v jednotkách, ve 150. minutě byla u všech vzorků kromě standardu pozorována 100%-ní bakteriální inhibice. Samotný standard barvy nevykazoval žádný inhibiční efekt na testovaný bakteriální kmen.



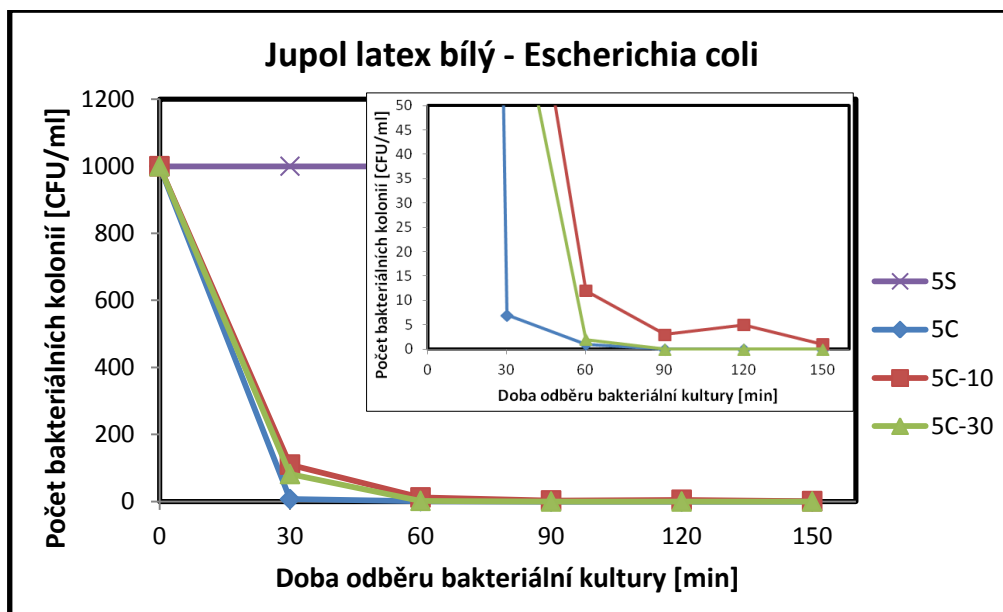
**Graf č. 8:** Inhibice nastává u vzorků s antibakteriálním solem ve 30. minutě, počet bakteriálních kolonií se pohybuje v jednotkách. Procento inhibice ve 150. minutě oproti standardu je u 5A a 5A-30 100 %, u 5A-10 potom 99,9 %. Samotný standard barvy nevykazoval žádný inhibiční efekt na testovaný bakteriální kmen.



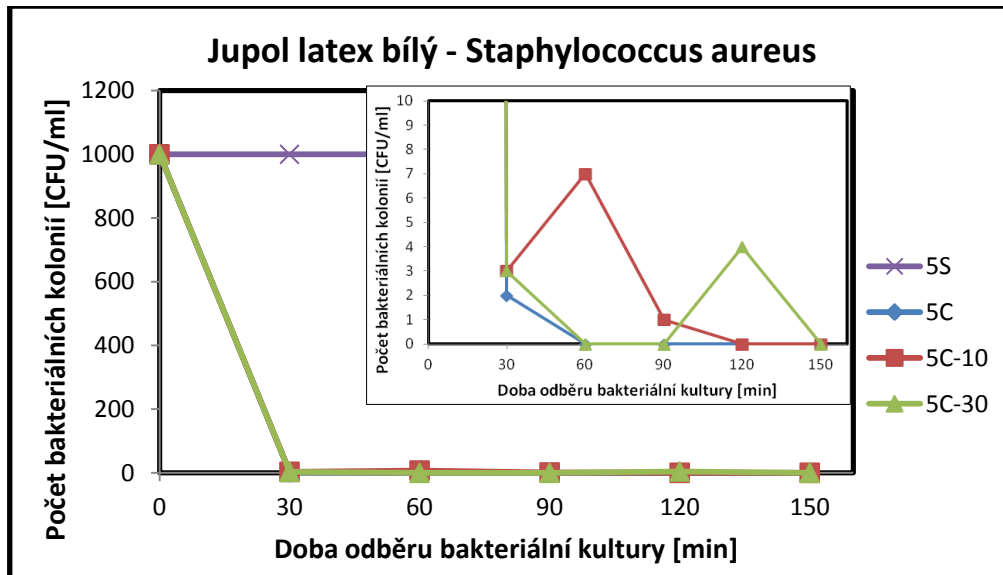
**Graf č. 9:** Inhibice nastává u vzorků s antibakteriálním solem ve 30. minutě, počet bakteriálních kolonií se od 60. minuty pohybuje v jednotkách, ve 150. minutě byla u všech vzorků mimo standard 100%-ní bakteriální inhibice. Samotný standard barvy nevykazoval žádný inhibiční efekt na testovaný bakteriální kmen.



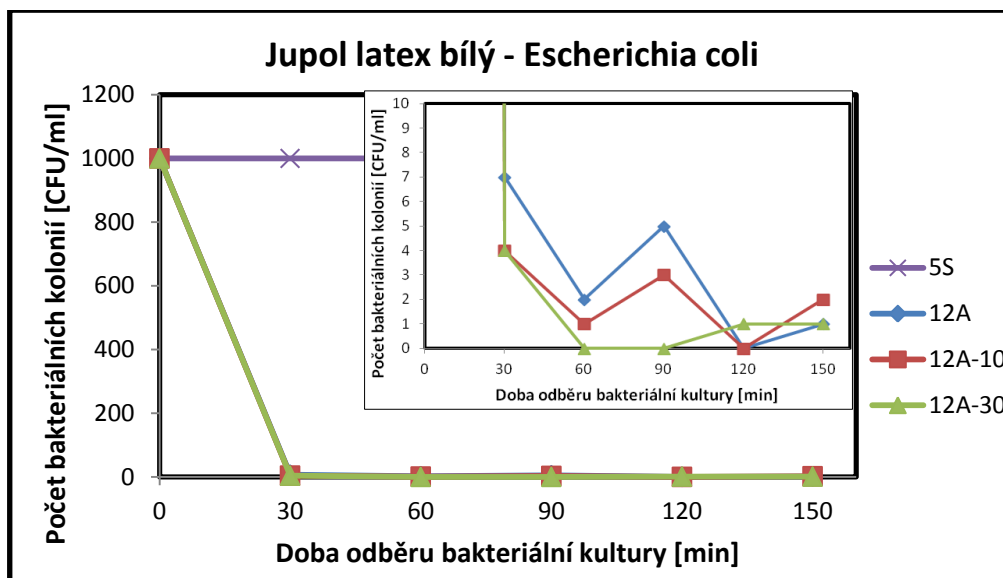
**Graf č. 10:** Inhibice nastává u vzorků s antibakteriálním solem ve 30. minutě, počet bakteriálních kolonií je od 90. minuty u všech vzorků mimo standard nulový. Samotný standard barvy nevykazoval žádný inhibiční efekt na testovaný bakteriální kmen.



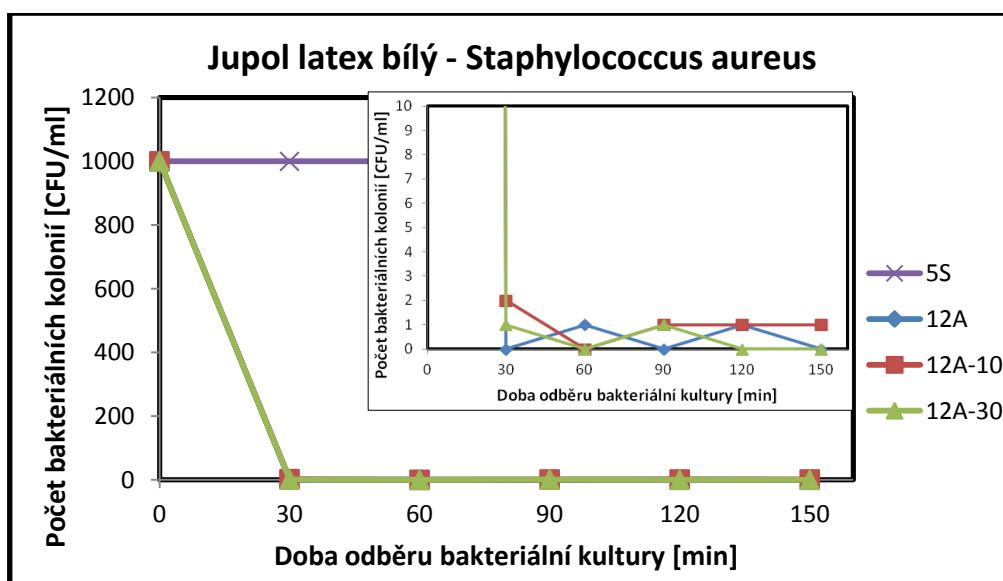
**Graf č. 11:** Inhibice nastává u všech vzorků s antibakteriálním solem ve 30. minutě, počet bakteriálních kolonií se pohybuje v jednotkách až desítkách. Procento inhibice ve 150. minutě oproti standardu je u 5C a 5C-30 100 %, u 5C-10 potom 99,9 %. Samotný standard barvy nevykazoval žádný inhibiční efekt na testovaný bakteriální kmen.



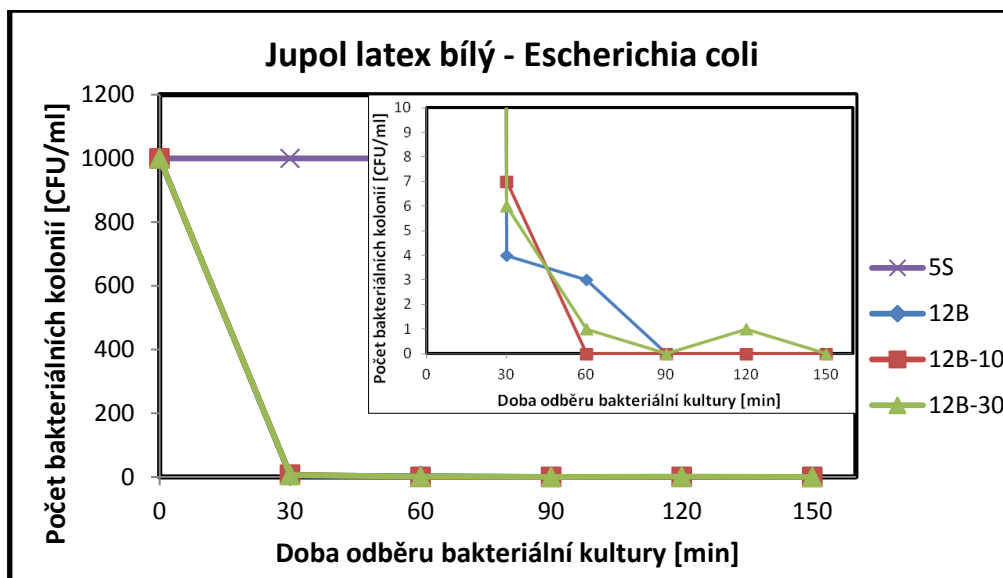
**Graf č. 12:** Inhibice nastává u vzorků s antibakteriálním solem ve 30. minutě, počet bakteriálních kolonií se pohybuje v jednotkách, ve 150. minutě byla u všech vzorků mimo standardu 100%-ní bakteriální inhibice. Samotný standard barvy nevykazoval žádný inhibiční efekt na testovaný bakteriální kmen.



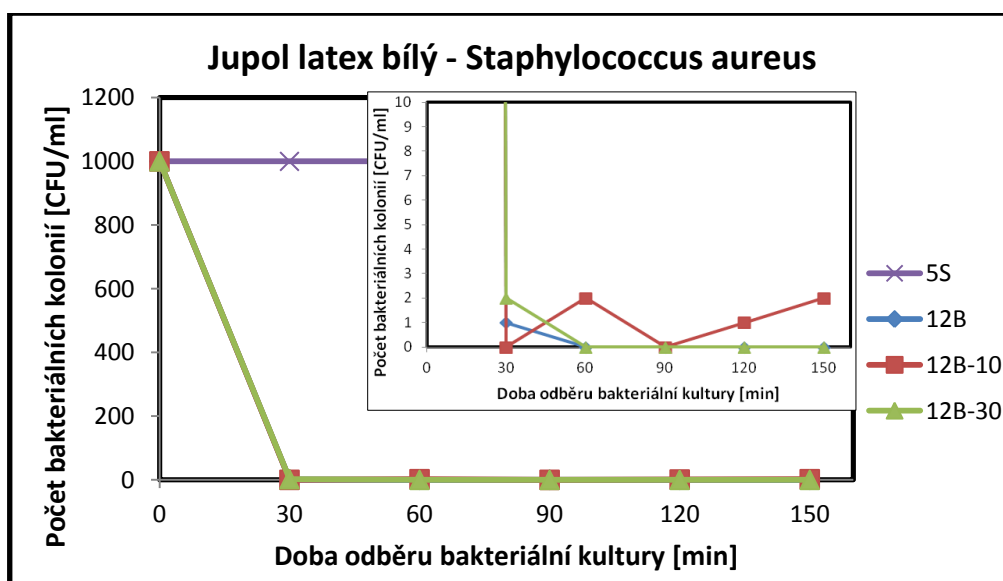
**Graf č. 13:** Inhibice nastává u vzorků s antibakteriálním solem ve 30. minutě, počet bakteriálních kolonií se pohybuje v jednotkách. Procento inhibice ve 150. minutě oproti standardu je u vzorků 12A a 12A-30 99,9 % a u 12A-10 99,8 %. Samotný standard barvy nevykazoval žádný inhibiční efekt na testovaný bakteriální kmen.



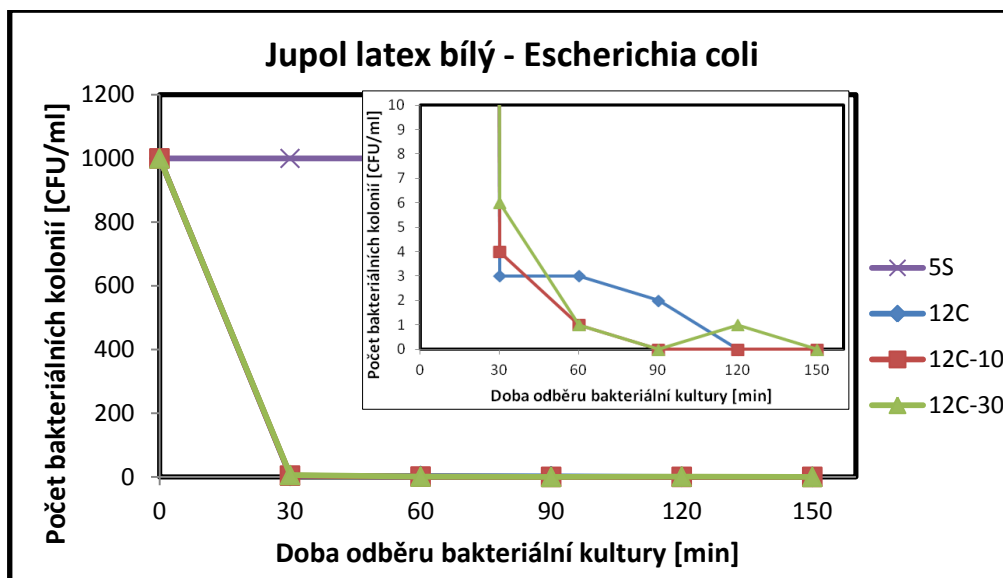
**Graf č. 14:** Inhibice nastává u vzorků s antibakteriálním solem ve 30. minutě, počet bakteriálních kolonií se pohybuje v jednotkách. Procento inhibice ve 150. minutě oproti standardu je u 12A a 12A-30 100 % a u vzorku 12A-10 99,9 %. Samotný standard barvy nevykazoval žádný inhibiční efekt na testovaný bakteriální kmen.



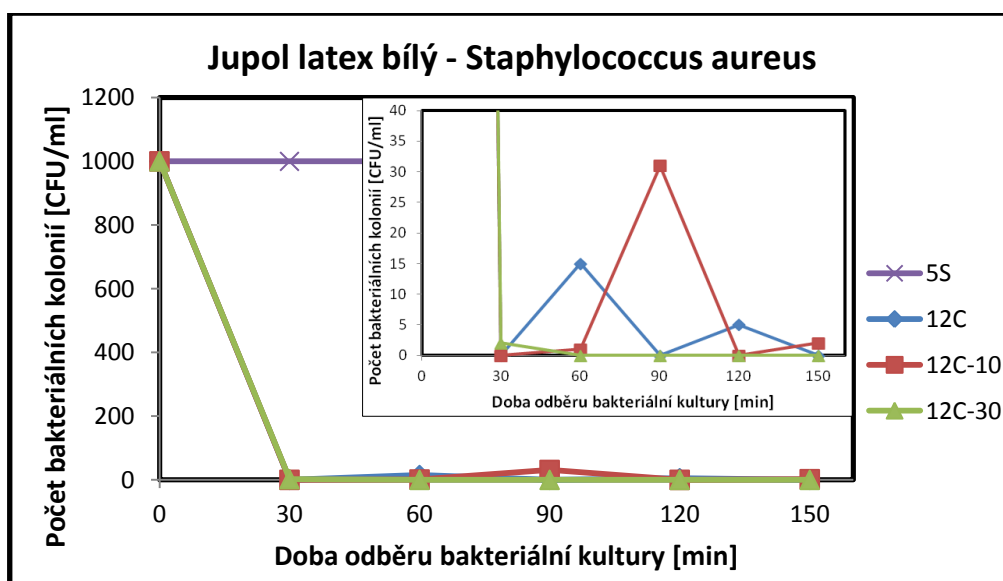
**Graf č. 15:** Bakteriální inhibice nastává u vzorků s antibakteriálním solem ve 30. minutě, počet bakteriálních kolonií se pohybuje v jednotkách. Procento inhibice ve 150. minutě oproti standardu je u vzorku 12B-30 99,6 %, u druhých dvou 100 %. Samotný standard barvy nevykazoval žádný inhibiční efekt na testovaný bakteriální kmen.



**Graf č. 16:** Bakteriální inhibice nastává u vzorků s antibakteriálním solem ve 30. minutě, počet bakteriálních kolonií se pohybuje v jednotkách. Procento inhibice ve 150. minutě oproti standardu je u vzorku 12B-10 99,8 % a u zbylých dvou vzorků 100 %. Samotný standard barvy nevykazoval žádný inhibiční efekt na testovaný bakteriální kmen.



**Graf č. 17:** Bakteriální inhibice nastává u vzorků s antibakteriálním solem ve 30. minutě, počet bakteriálních kolonií se pohybuje v jednotkách. Procento inhibice ve 150. minutě oproti standardu je 100 %. Samotný standard barvy nevykazoval žádný inhibiční efekt na testovaný bakteriální kmen.



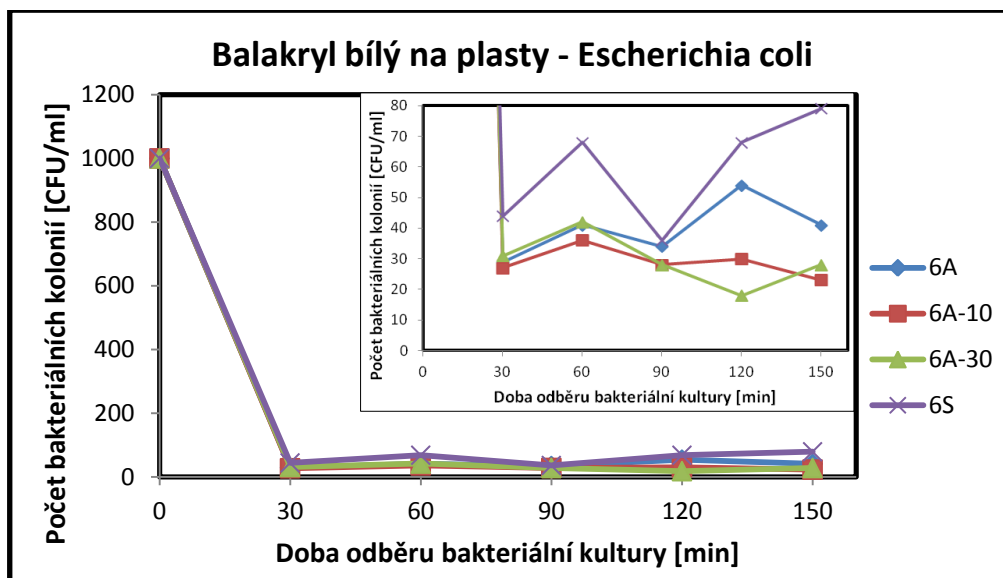
**Graf č. 18:** Inhibice bakterií S. Aureus nastává u vzorků s antibakteriálním solem ve 30. minutě, počet bakteriálních kolonií se pohybuje v jednotkách. Procento inhibice ve 150. minutě oproti standardu je u vzorku 12C-10 99-8 % a u zbylých dvou vzorků 100 %. Samotný standard barvy nevykazoval žádný inhibiční efekt na testovaný bakteriální kmen.



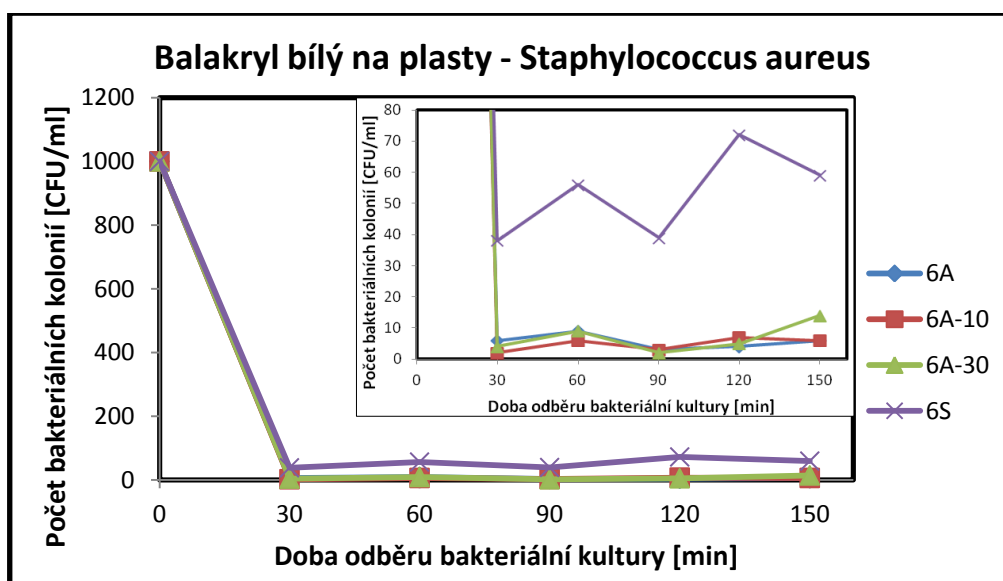
**Obrázek 20:** Barva Jupol Latex Saten namíchaná v poměru 10 g barvy a 2,5 g solu ředěného v poměru 1:10 natřená na čtyřech sklech, zleva jsou to vzorky 12C, 12C-10, 12C-20 a 12C-30.



**Obrázek 21:** Barva Balakryl PLASTY 0100 bílý, zleva vzorky 6A, 6A-10, 6A-20 a 6A-30. V místech, kde se barva změnila z bílé na růžovou nebo hnědou je patrná redukce kationtů stříbrných na  $\text{Ag}^0$ , což bylo důvodem nepokračování testů s těmito barvami.

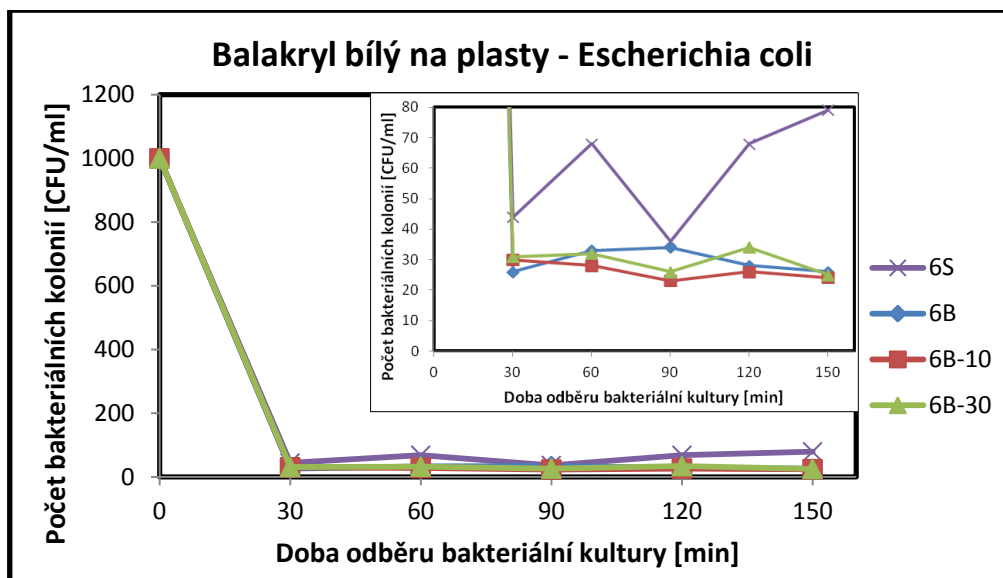


**Graf č. 19:** Inhibice nastává u všech testovaných vzorků ve 30. minutě, počet bakteriálních kolonií se řádově pohybuje v desítkách. Procento inhibice ve 150. minutě oproti standardu je u 6A 48,1 %, pro 6A-10 % a pro 6A-30 64,6 %. Samotný standard barvy vykazoval inhibiční efekt na testovaný bakteriální kmen.

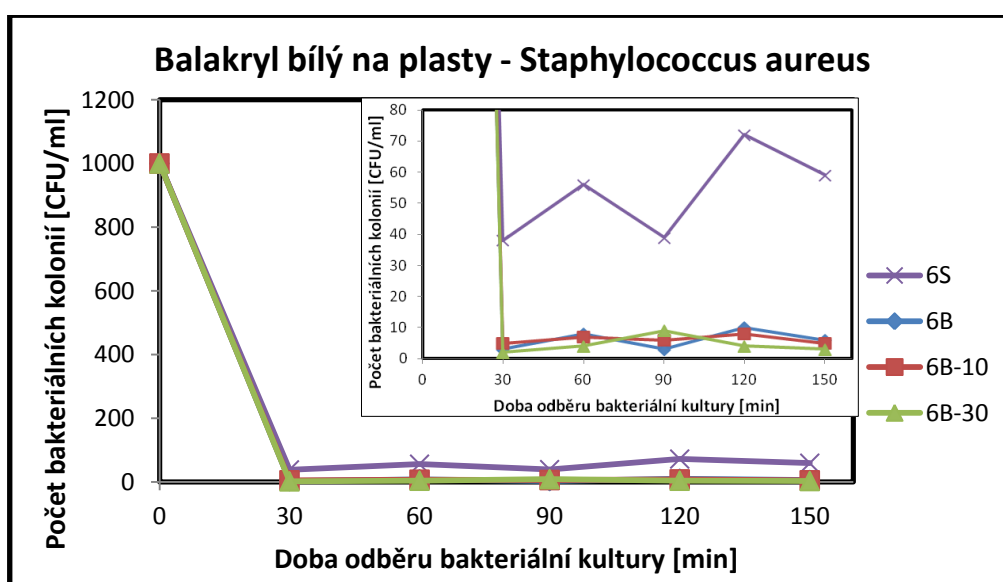


**Graf č. 20:** Bakteriální inhibice nastává u všech testovaných vzorků ve 30. minutě, počet bakteriálních kolonií se pohybuje v desítkách a jednotkách. Procento bakteriální inhibice ve 150. minutě oproti standardu je pro 6A a 6A-10 89,8 %, a pro 6A-30 76,3 %. Samotný standard barvy vykazoval inhibiční efekt na testovaný bakteriální kmen, avšak oproti modifikovaným vzorkům měl nižší antibakteriální aktivitu.

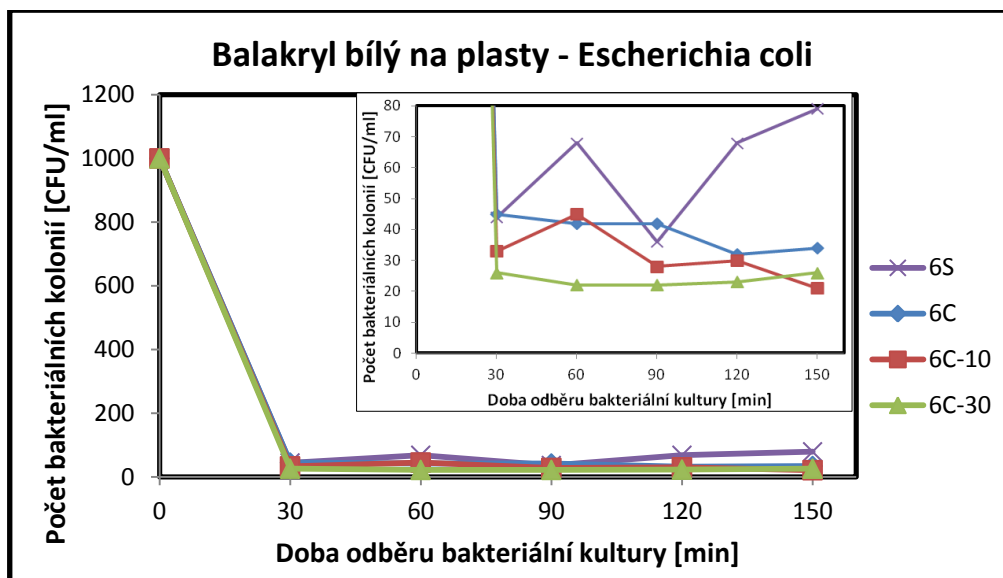




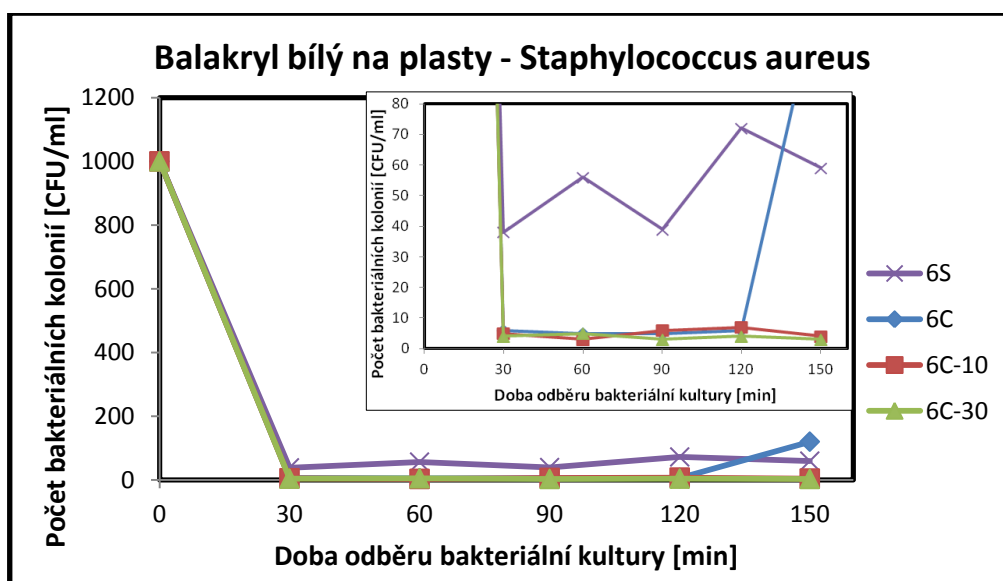
**Graf č. 21:** Inhibice *E. coli* nastává u všech testovaných vzorků ve 30. minutě, počet bakteriálních kolonií se pohybuje v desítkách. Procento inhibice ve 150. minutě oproti standardu se u vzorků se solem pohybuje mezi 67 a 70 %. Samotný standard barvy vykazoval nejnižší inhibiční efekt ze všech vzorků testovaných na daný bakteriální kmen.



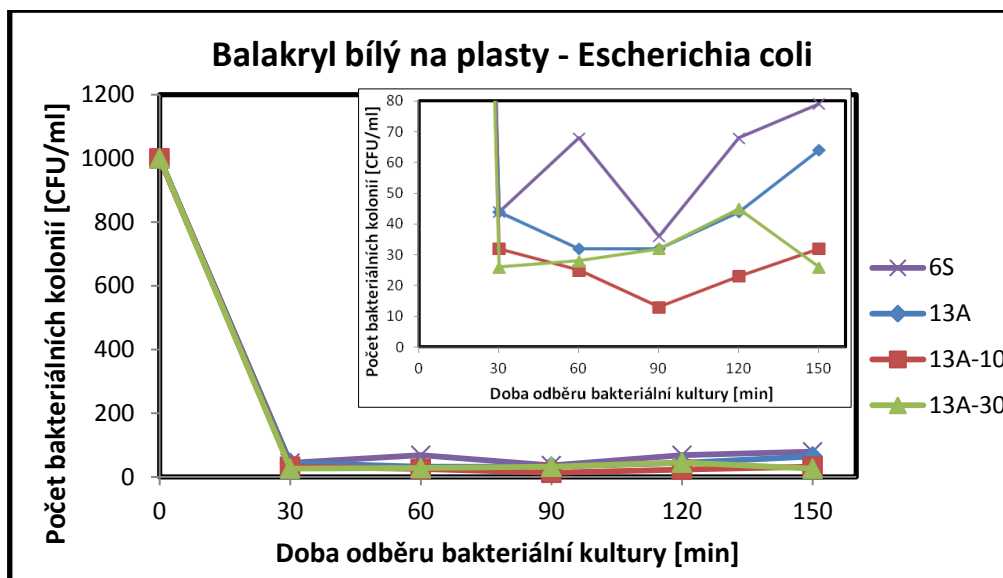
**Graf č. 22:** Bakteriální inhibice *S. Aureus* nastává u všech testovaných vzorků ve 30. minutě, počet bakteriálních kolonií se pohybuje pouze v jednotkách. Procento inhibice ve 150. minutě oproti standardu se inhibice pohybuje mezi 89,8 % u 6B po 94,9 % pro 6B-30. Samotný standard barvy vykazoval inhibiční efekt na testovaný bakteriální kmen, proti modifikovaným vzorkům měl nižší antibakteriální aktivitu.



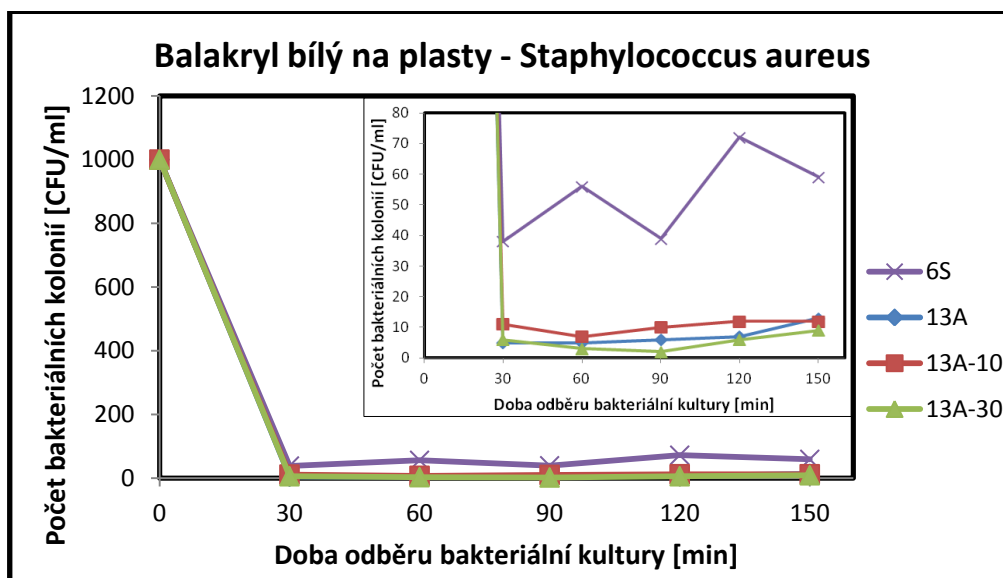
**Graf č. 23:** Inhibice *E. coli* nastává u všech testovaných vzorků ve 30. minutě, počet bakteriálních kolonií se pohybuje v desítkách. Procento inhibice ve 150. minutě je oproti standardu 57 % pro 6C, 73,4 % pro 6C-10 a 67,1 % pro 6C-30. Samotný standard barvy vykazoval nejnižší inhibiční efekt na testovaný bakteriální kmen.



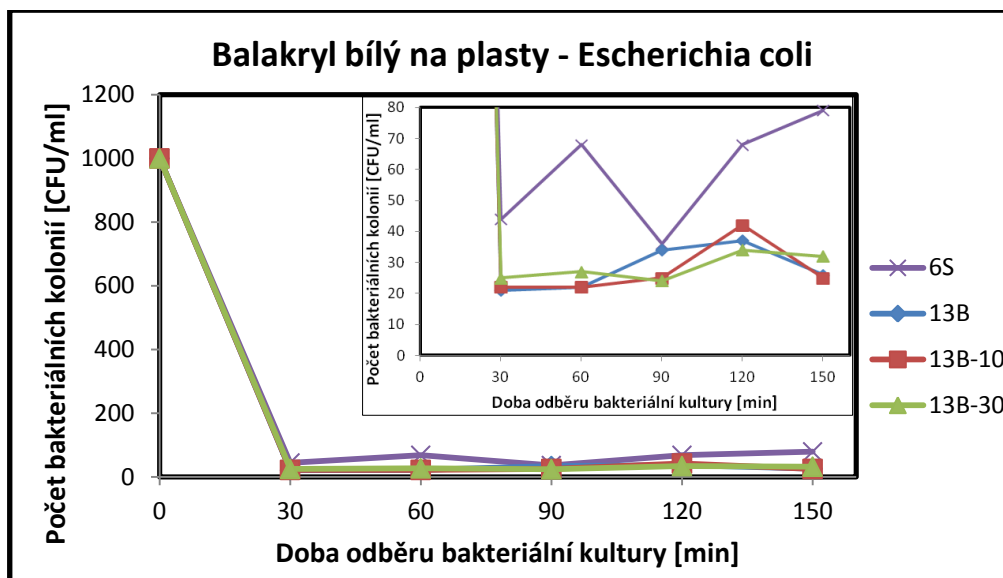
**Graf č. 24:** Bakteriální inhibice *S. Aureus* nastává u všech testovaných vzorků ve 30. minutě, počet bakteriálních kolonií se pohybuje pouze v jednotkách. Procento inhibice ve 150. minutě oproti standardu je pro 6C-10 vyšší o 93,2 % a pro 6C-30 o 94,9 %. U vzorku 6C se ve 120. Minutě objevil nárůst bakteriálních kolonií, což vzhledem k předchozím výsledkům (30. až 90. minuta) považují za artefakt. Samotný standard barvy vykazoval inhibiční efekt na testovaný bakteriální kmen, proti modifikovaným vzorkům měl nižší antibakteriální aktivitu.



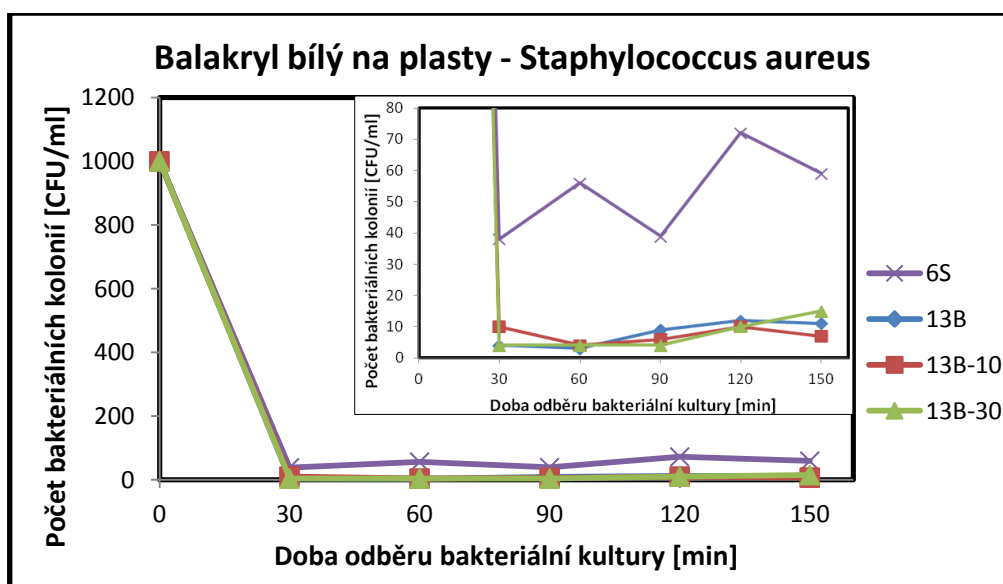
**Graf č. 25:** Inhibice *E. coli* nastává u všech testovaných vzorků ve 30. minutě, počet bakteriálních kolonií se pohybuje v desítkách. Procento inhibice ve 150. minutě je oproti standardu 19 % pro 13A, 59,5 % pro 13A-10 a 67,1 % pro 13A-30. Samotný standard barvy vykazoval ze všech vzorků nejnižší inhibiční efekt na testovaný bakteriální kmen.



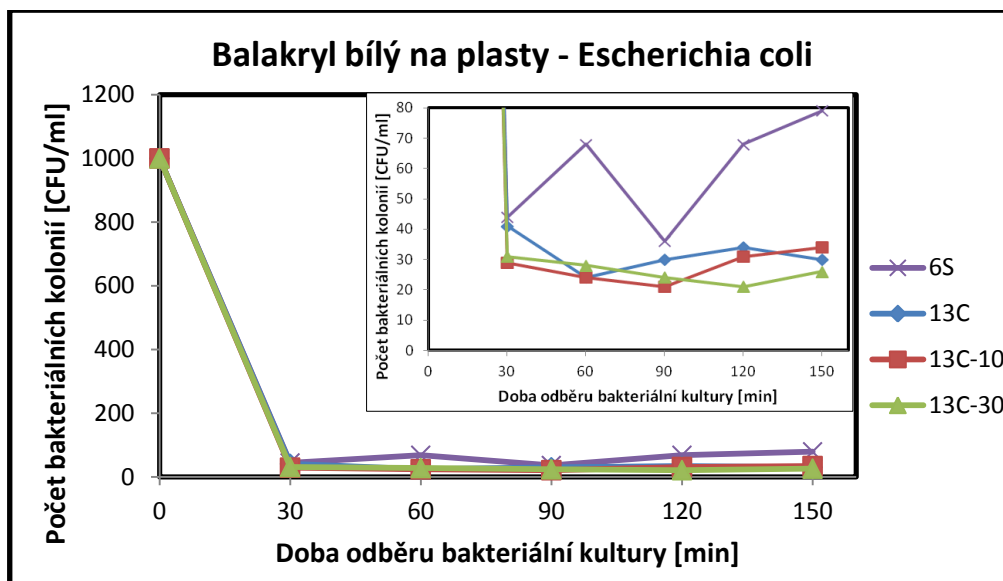
**Graf č. 26:** Bakteriální inhibice *S. Aureus* nastává u všech testovaných vzorků ve 30. minutě, počet bakteriálních kolonií se pohybuje pouze v jednotkách. Procento bakteriální inhibice ve 150. minutě oproti standardu je u 13A 78 % pro 13A-10. Samotný standard barvy vykazoval inhibiční efekt na testovaný bakteriální kmen, proti modifikovaným vzorkům měl nejnižší antibakteriální aktivitu.



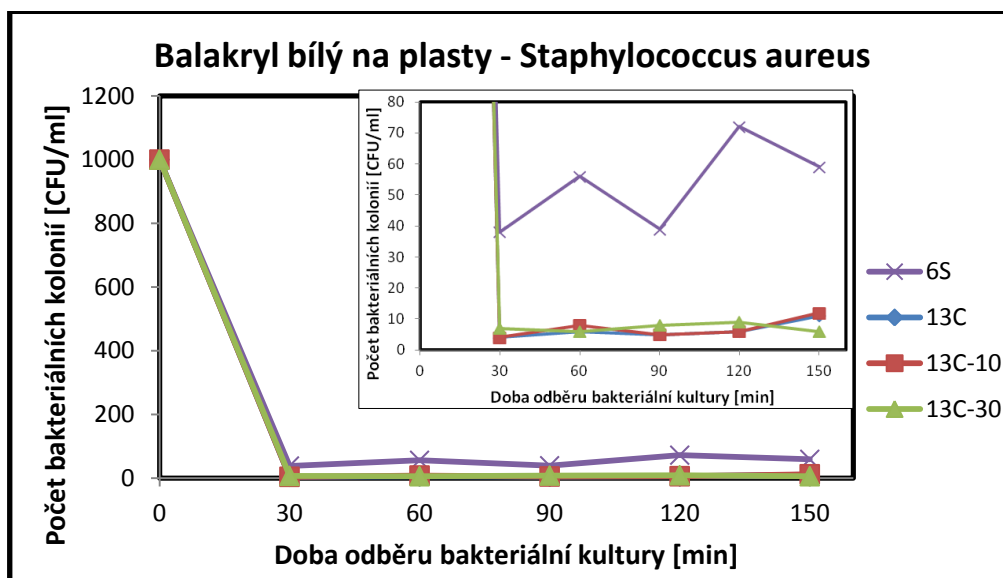
**Graf č. 27:** Inhibice *E. coli* nastává u všech testovaných vzorků ve 30. minutě, počet bakteriálních kolonií se pohybuje v desítkách. Procento inhibice ve 150. minutě je oproti standardu 67,1 % pro 13B, 68,4 % pro 13B-10 a 59,5 % pro 13B-30. Samotný standard barvy vykazoval nejnižší inhibiční efekt na testovaný bakteriální kmen.



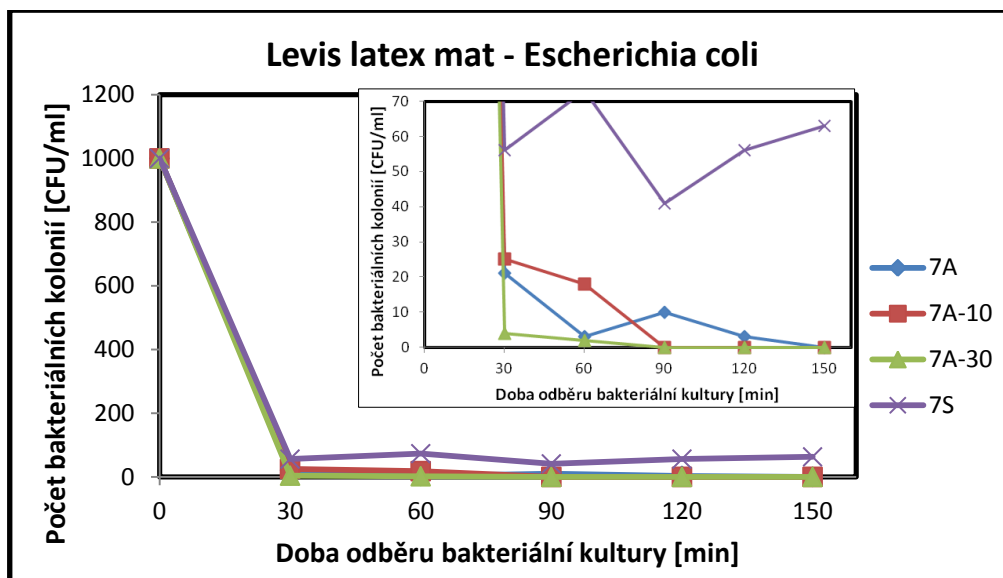
**Graf č. 28:** Inhibice bakterií *Staphylococcus aureus* nastává u všech vzorků ve 30. minutě, u všech vzorků s antibakteriálním solem se koncentrace pohybuje v jednotkách, v případě standardu potom v desítkách, o hodně menší inhibiční efekt než vzorky se solem. Rozdíl inhibice proti standardu byl pro 13B 81,4 %, pro 13B-10 88,1 % a v případě 13B-30 potom 74,6 %.



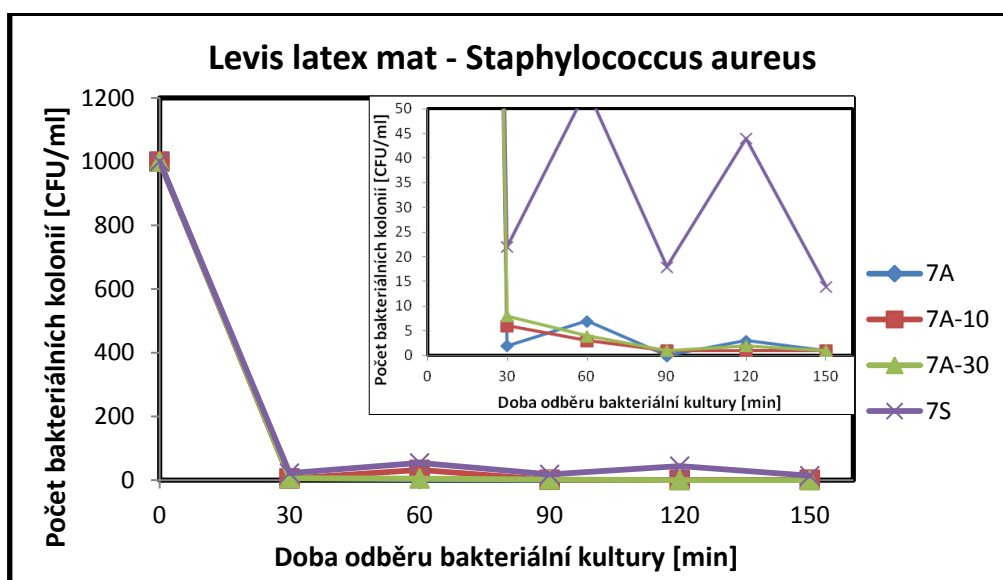
**Graf č. 29:** Inhibice *E. coli* nastává u všech testovaných vzorků ve 30. minutě, počet bakteriálních kolonií se pohybuje v desítkách. Procento inhibice ve 150. minutě je oproti standardu 62 % pro 13C, 57 % pro 13C-10 a 67,1 % pro 13C-30. Samotný standard barvy vykazoval také antibakteriální efekt, který byl ovšem nižší, než u modifikovaných vzorků.



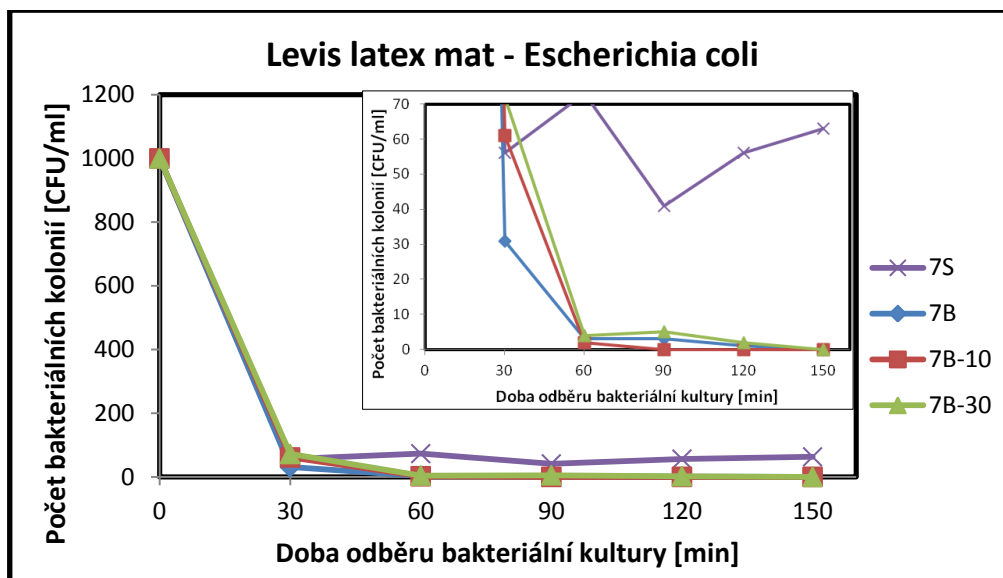
**Graf č. 30:** Inhibice bakterií *Staphylococcus aureus* nastává u všech vzorků ve 30. minutě, u všech vzorků s antibakteriálním solem se koncentrace bakteriálních kolonií pohybuje kolem deseti CFU/ml, v případě standardu potom v desítkách. Inhibice u vzorků se solem byla proti standardu lepší pro 13C o 81,4 %, pro 13B-10 o 79,7 % a v případě 13B-30 potom o 89,8 %.



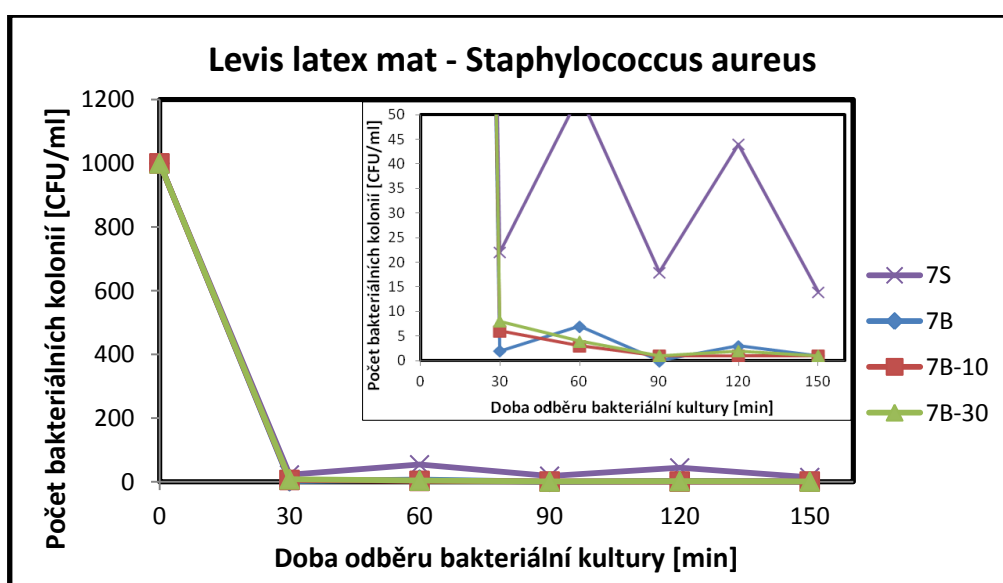
**Graf č. 31:** Inhibice bakterií nastává u všech testovaných vzorků ve 30. minutě, počet přeživších bakteriálních kolonií se u vzorků se solem pohybuje v desítkách a jednotkách, až nakonec klesá k nule. U standardu v desítkách, a to výrazně výše. Procento inhibice ve 150. minutě je oproti standardu u všech vzorků se solem o 100 % vyšší



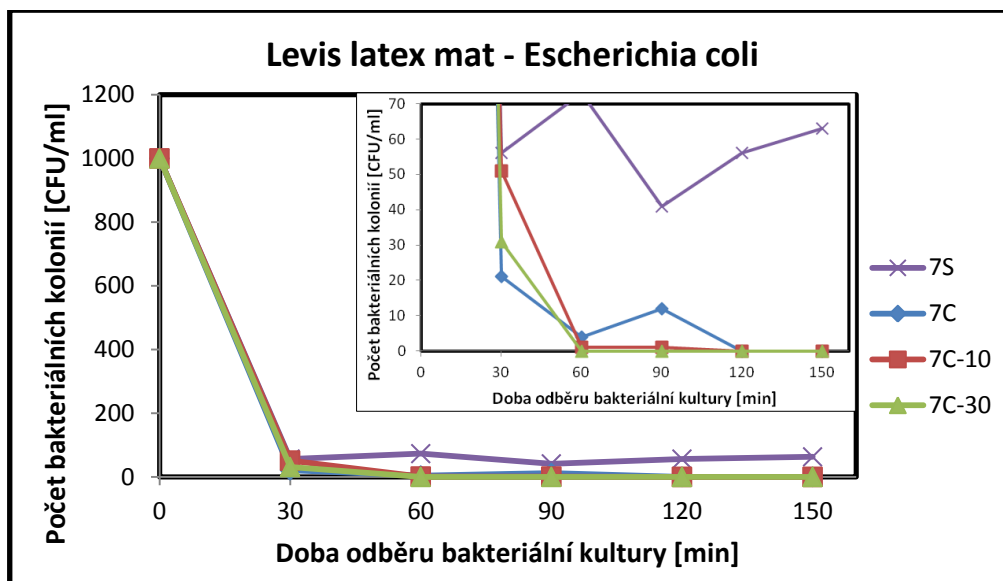
**Graf č. 32:** Inhibice bakterií *Staphylococcus aureus* nastává u všech vzorků ve 30. minutě, u všech vzorků s antibakteriálním solem se koncentrace pohybuje bakteriálních kolonií pohybuje kolem deseti CFU/ml, v případě standardu potom v desítkách. Inhibice u vzorků se solem byla proti standardu vyšší pro 7A i 7A-10 o 92,9 % a pro 7B-30 o 100 %.



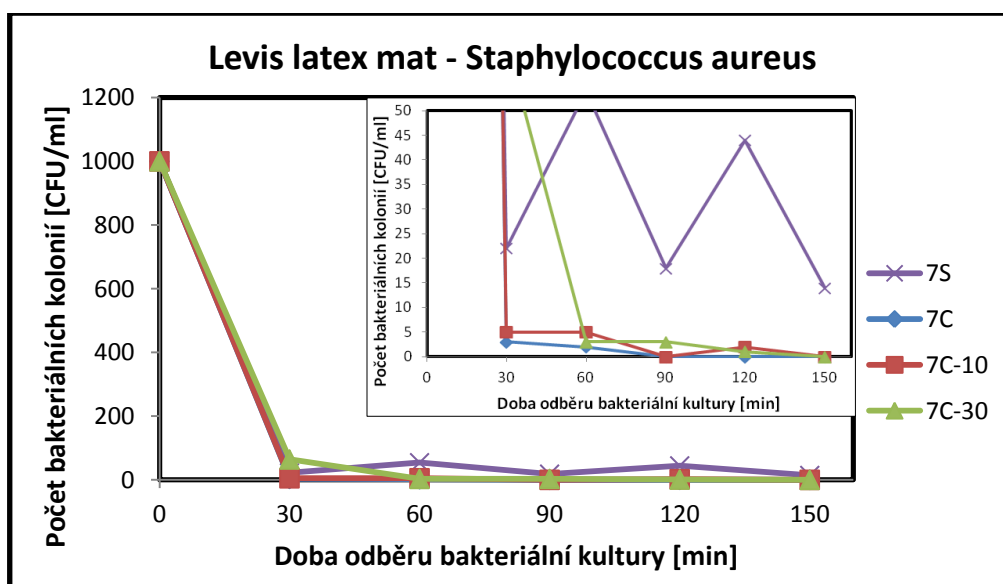
**Graf č. 33:** Inhibice bakterií nastává u všech testovaných vzorků ve 30. minutě, počet přeživších bakteriálních kolonií se u vzorků se solem pohybuje v desítkách a jednotkách, ve 150. minutě dochází ke 100% bakteriální inhibici. Samotný standard také vykazuje antibakteriální efekt, který je ale nižší, než u modifikovaných vzorků.



**Graf č. 34:** Inhibice bakterií *Staphylococcus aureus* nastává u všech vzorků ve 30. minutě. Samotný standard také vykazuje antibakteriální efekt, který je ale nižší, než u modifikovaných vzorků.

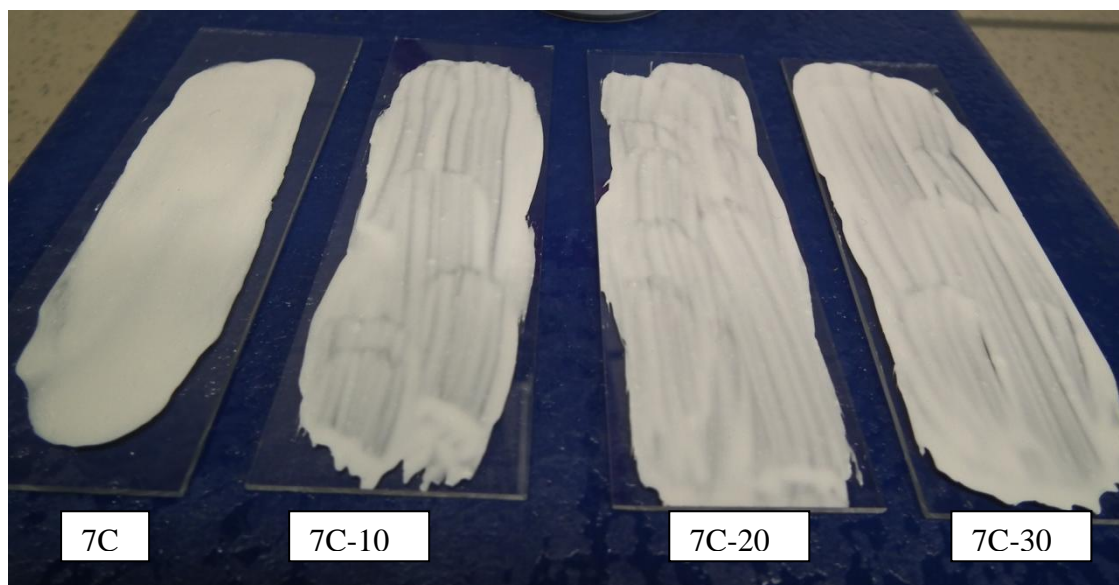


**Graf č. 35:** Inhibice bakterií nastává u všech testovaných vzorků ve 30. minutě, počet přeživších bakteriálních kolonií se u vzorků se solem pohybuje v desítkách a jednotkách, ve 150. minutě je inhibice u všech vzorků se solem 100%. U standardu je počet kolonií pro všechny časy v desítkách.

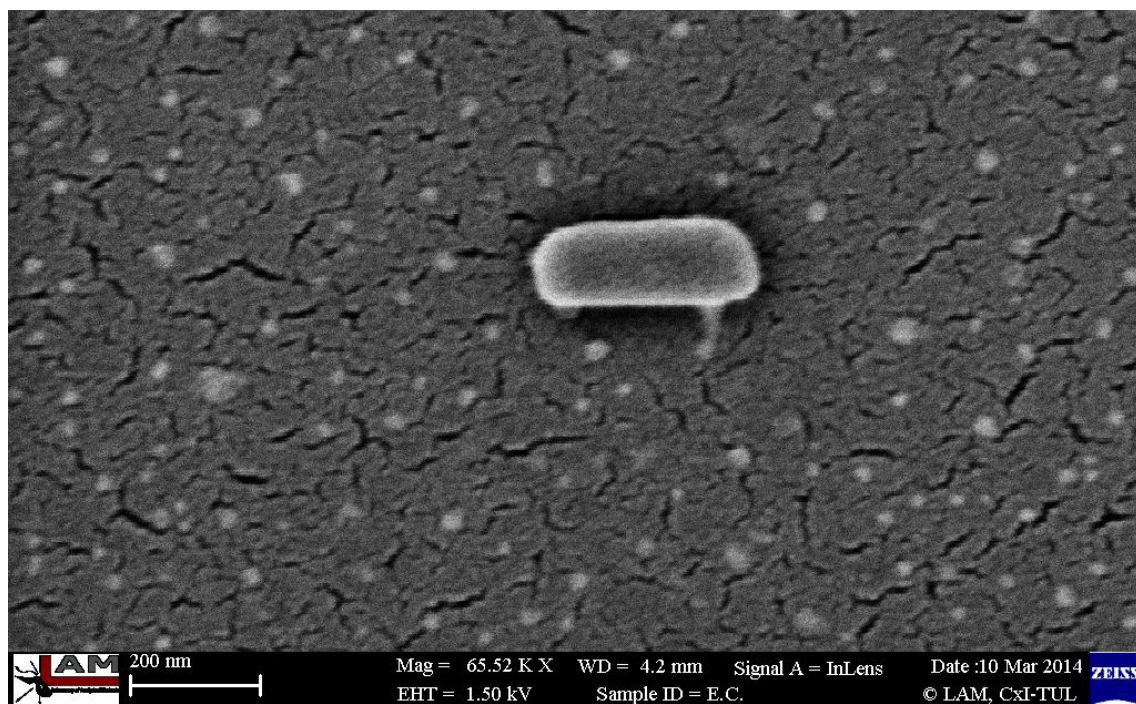


**Graf č. 36:** Inhibice bakterií nastává u všech testovaných vzorků ve 30. minutě, počet přeživších bakteriálních kolonií se u vzorků se solem pohybuje v desítkách a jednotkách, ve 150. minutě je inhibice u všech vzorků se solem 100%. U standardu je počet kolonií pro všechny časy v desítkách.

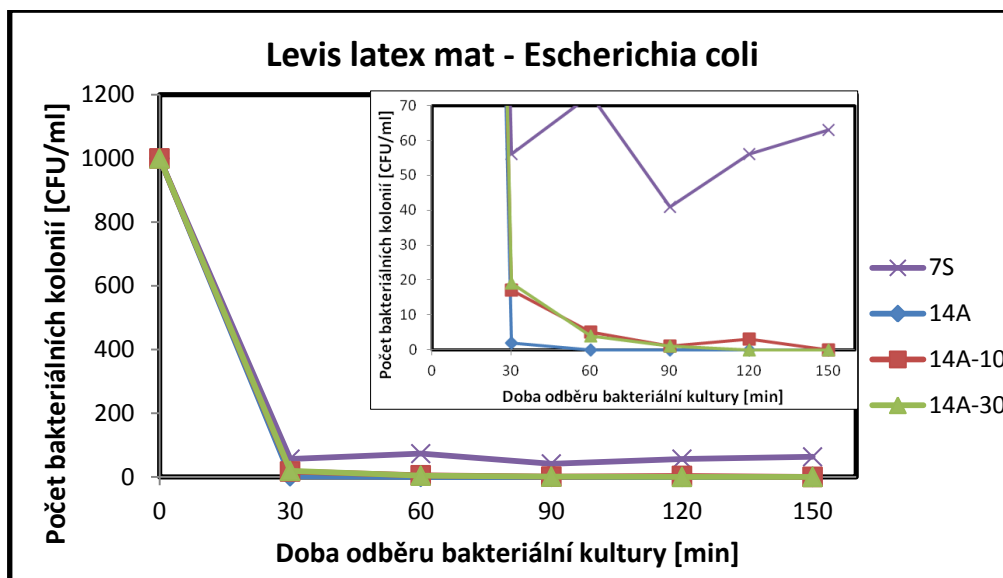




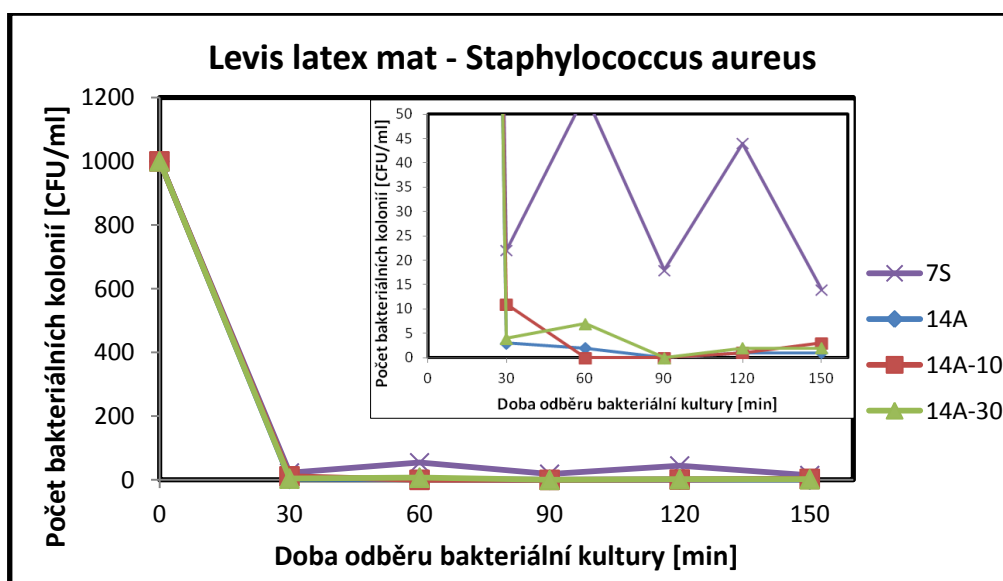
**Obrázek 22:** Barva Levis Latex v poměru 10 g barvy a 5 g směsi solu s IPA v poměru 1:10



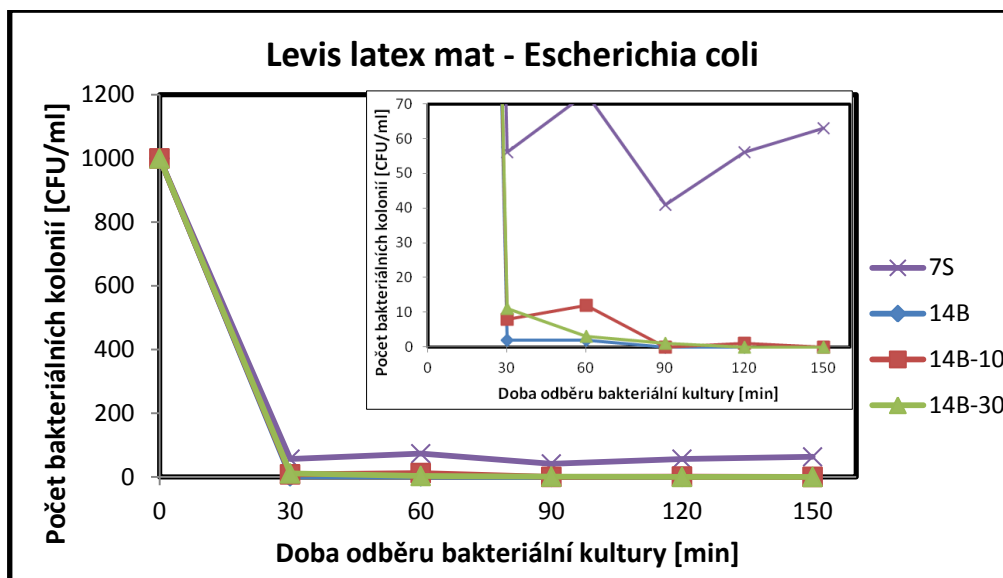
**Obrázek 23:** Snímek přeživší bakterie *Escherichia coli* na vzorku 13C pořízený pomocí rastrovacího elektronového mikroskopu (Zdroj: Ing. Pavel Kejzlar, Ph.D; rastrovací elektronový mikroskop ULTRA Plus od firmy Carl Zeiss)



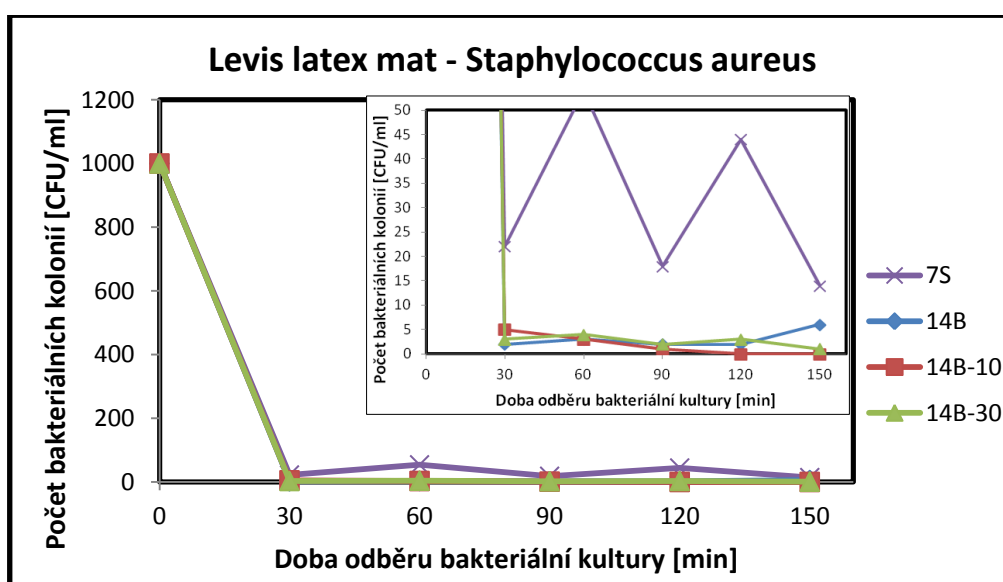
**Graf č. 37:** Inhibice bakterií nastává u všech testovaných vzorků ve 30. minutě, počet přeživších bakteriálních kolonií se u vzorků se solem pohybuje v desítkách a jednotkách, ve 150. minutě je inhibice u všech vzorků se solem 100%. U standardu je počet kolonií pro všechny časy v desítkách.



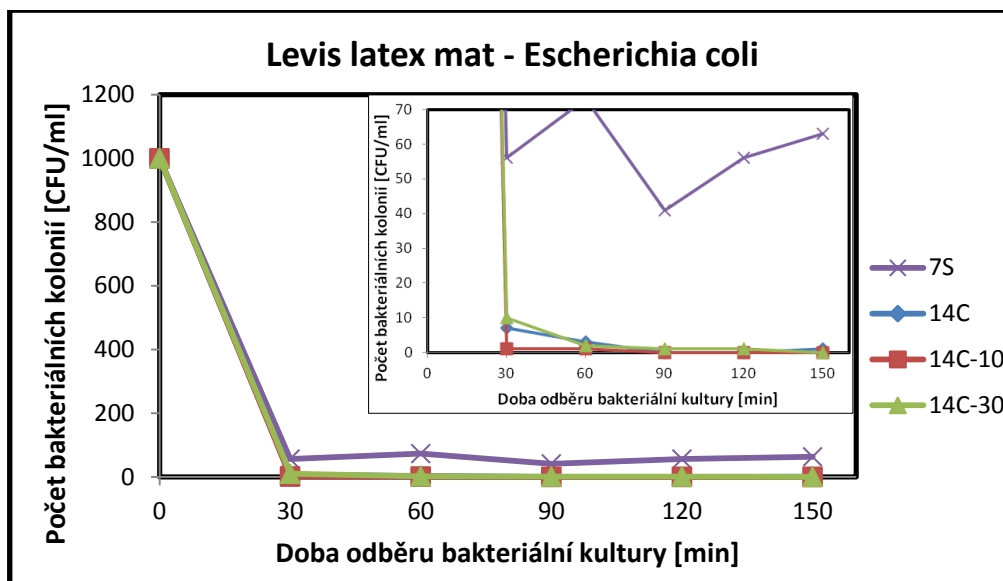
**Graf č. 38:** Inhibice bakterií nastává u všech vzorků ve 30. minutě, u všech vzorků s antibakteriálním solem se počet bakteriálních kolonií pohybuje v jednotkách, v případě standardu potom v desítkách. Inhibice u vzorků se solem byla proti standardu lepší pro 14A o 92,9 %, pro 14A-10 o 78,6 % a v případě 14A-30 potom o 85,7 %. Samotný standard vykazoval inhibiční účinky.



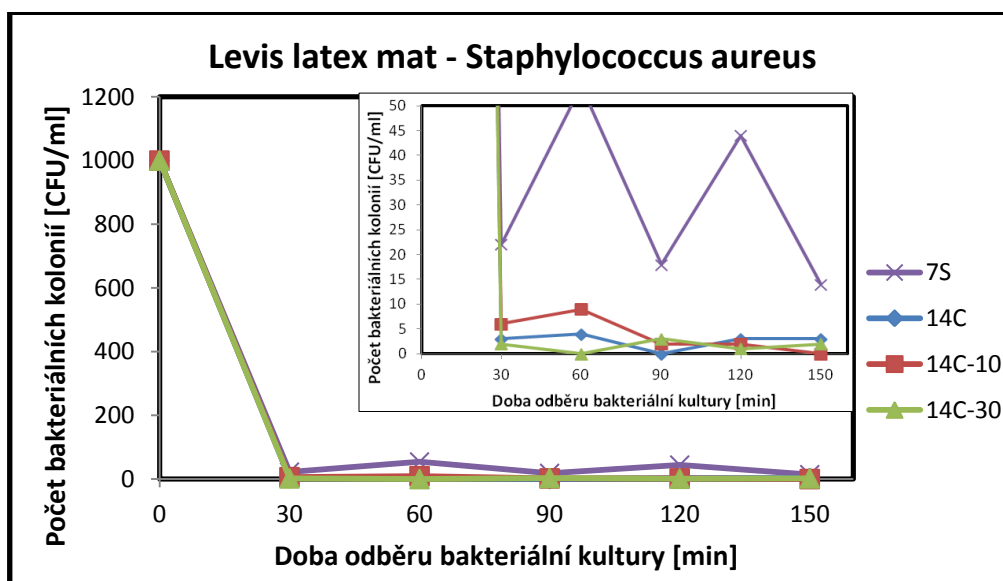
**Graf č. 39:** Inhibice bakterií nastává u všech testovaných vzorků ve 30. minutě, počet přeživších bakteriálních kolonií se u vzorků se solem pohybuje do 120. minuty v desítkách a jednotkách. Ve 150. minutě nebylo možné vyhodnotit vzorek 14B (důvodem bylo odloupení nanesené barvy od podkladu). Samotný standard také vykazuje antibakteriální efekt, který je ale nižší, než u modifikovaných vzorků.



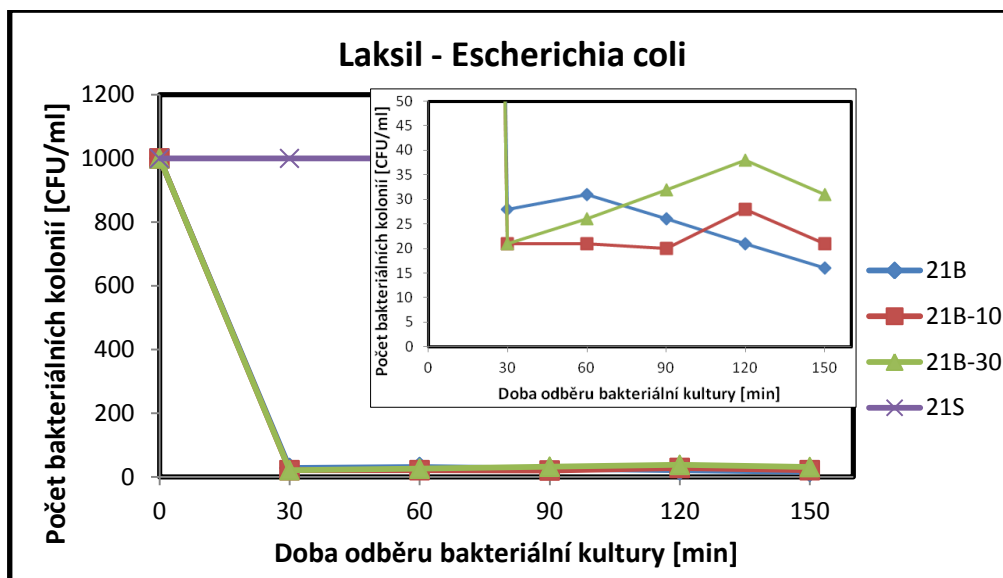
**Graf č. 40:** Inhibice bakterií nastává u všech vzorků ve 30. minutě, počet bakteriálních kolonií pohybuje v jednotkách, v případě standardu potom v desítkách. Inhibice u vzorků se solem byla proti standardu lepší pro 14B o 57 %, pro 14B-10 o 100 % a 14B-30 o 92,9 %. Samotný standard také vykazuje antibakteriální efekt, který je ale nižší, než u modifikovaných vzorků.



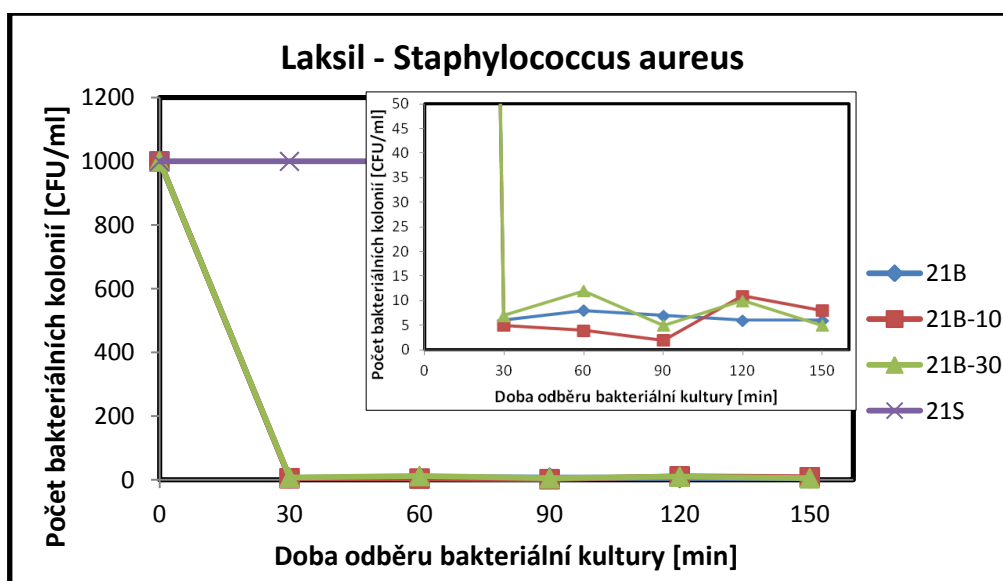
**Graf č. 41:** Inhibice bakterií nastává u všech vzorků ve 30. minutě. U všech vzorků s antibakteriálním solem se počet bakteriálních kolonií pohybuje v jednotkách, v případě standardu potom v desítkách. Inhibice u vzorků se solem byla proti standardu lepší pro 14C o 98,4 %, a pro 14C-10 i 14C-30 byla inhibice 100%. Samotný standard vykazoval antibakteriální účinnost, avšak o poznání nižší než vzorky se solem.



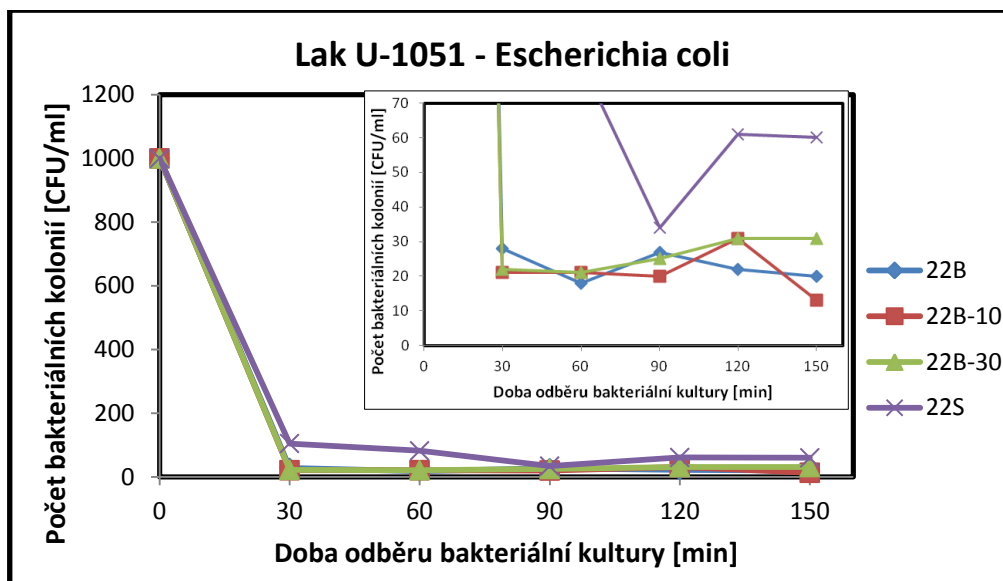
**Graf č. 42:** Inhibice bakterií nastává u všech vzorků ve 30. minutě, u všech vzorků s antibakteriálním solem se počet bakteriálních kolonií pohybuje v jednotkách, v případě standardu potom v desítkách. Inhibice u vzorků se solem byla proti standardu lepší pro 14C o 78,6 %, pro 14C-10 o 100 % a v případě 14C-30 potom o 85,7 %. Samotný standard také vykazuje antibakteriální efekt, který je ale nižší, než u modifikovaných vzorků.



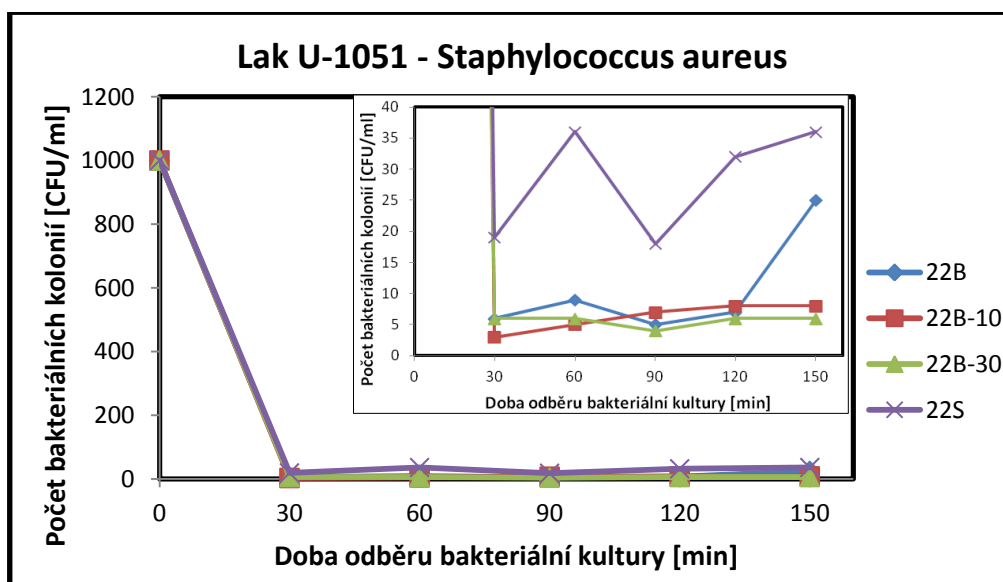
**Graf č. 43:** Všechny vzorky obsahující antibakteriální sol vykazují inhibici od 30. minuty, počty zbylých kolonií se pohybují v desítkách. Standard nevykazoval žádný antibakteriální efekt Oproti standardu vzorek 21B inhiboval lépe o 98,4 %, 21B-10 o 97,9 % a 21B-30 o 96,9 %.



**Graf č. 44:** Všechny vzorky obsahující antibakteriální sol vykazují inhibici od 30. minuty, počty zbylých kolonií se pohybují v jednotkách. Standard nevykazoval žádný antibakteriální efekt Oproti standardu vzorek 21B inhiboval lépe o 99,4 %, 21B-10 o 99,2 % a 21B-30 o 99,5 %.

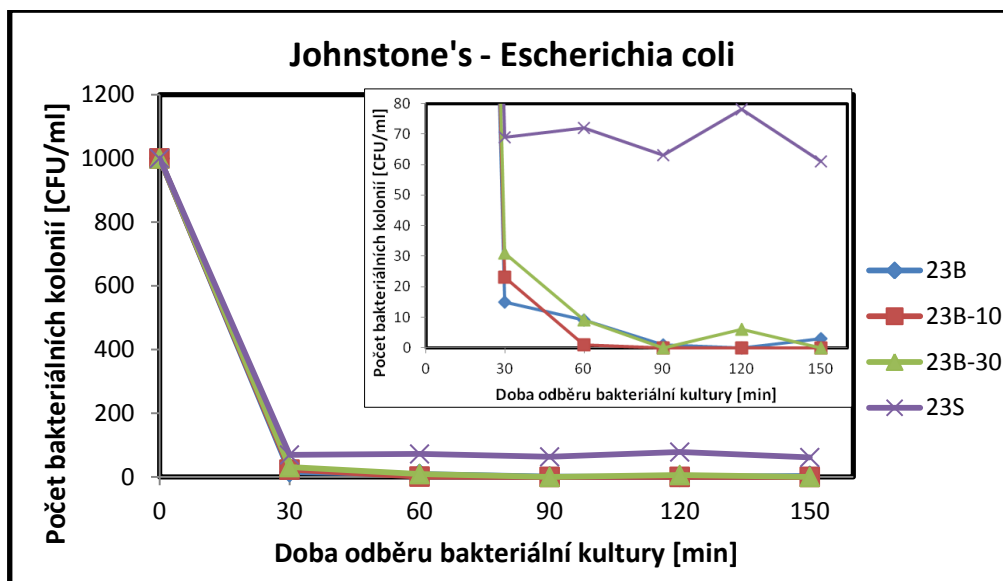


**Graf č. 45:** Inhibice bakterií nastává u všech vzorků ve 30. minutě, u všech vzorků s antibakteriálním solem se počet bakteriálních kolonií pohybuje v desítkách, v případě standardu okolo stovky. Inhibice byla proti standardu vyšší pro 22B o 66,7 %, pro 22B-10 o 78,3 % a pro 22B-30 o 48,3 %. Standard vykazuje určitou míru antibakteriální inhibice, avšak menší než vzorky se solem.

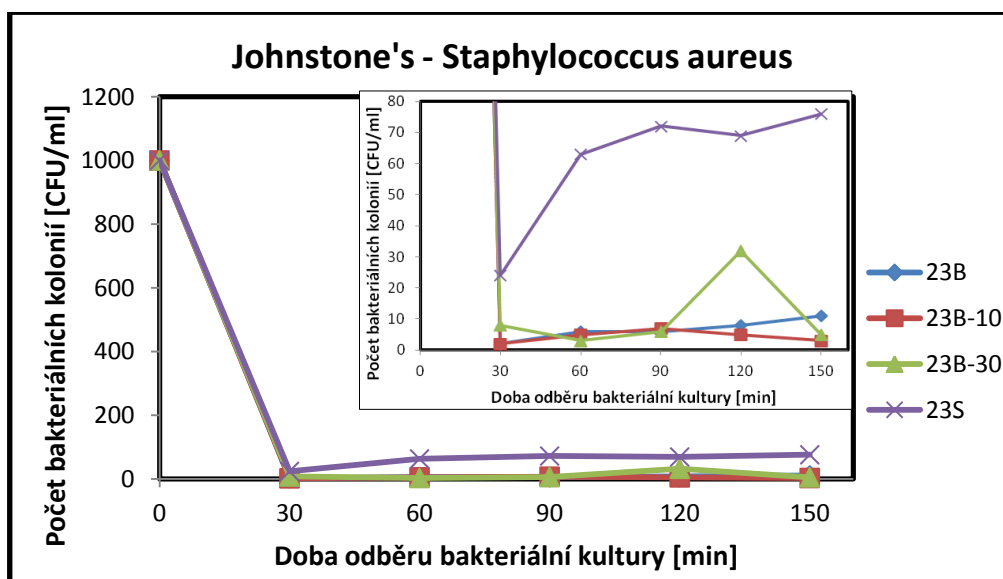


**Graf č. 46:** Inhibice bakterií nastává u všech vzorků ve 30. minutě, u vzorků 22B-10 a 22B-30 se počet bakteriálních kolonií pohybuje v jednotkách, u standardu a 150. minuty vzorku 22B potom v desítkách. Inhibice u vzorků se solem byla proti standardu lepší pro 22B o 30,6 %, pro 22B-10 o 77,8 % a pro 22B-30 o 83,3 %. Samotný standard vykazoval inhibiční účinek, avšak nižší, než u modifikovaných vzorků.

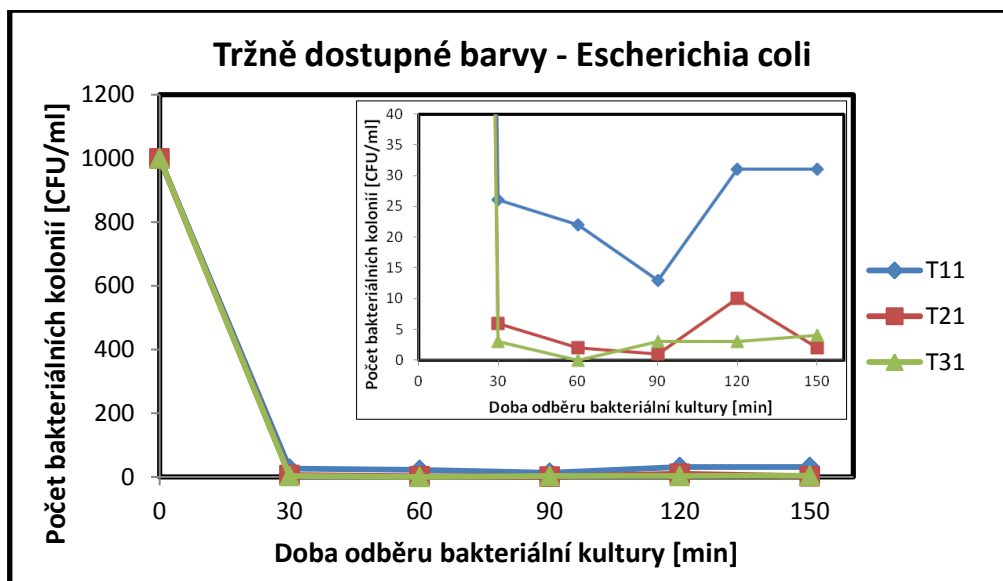




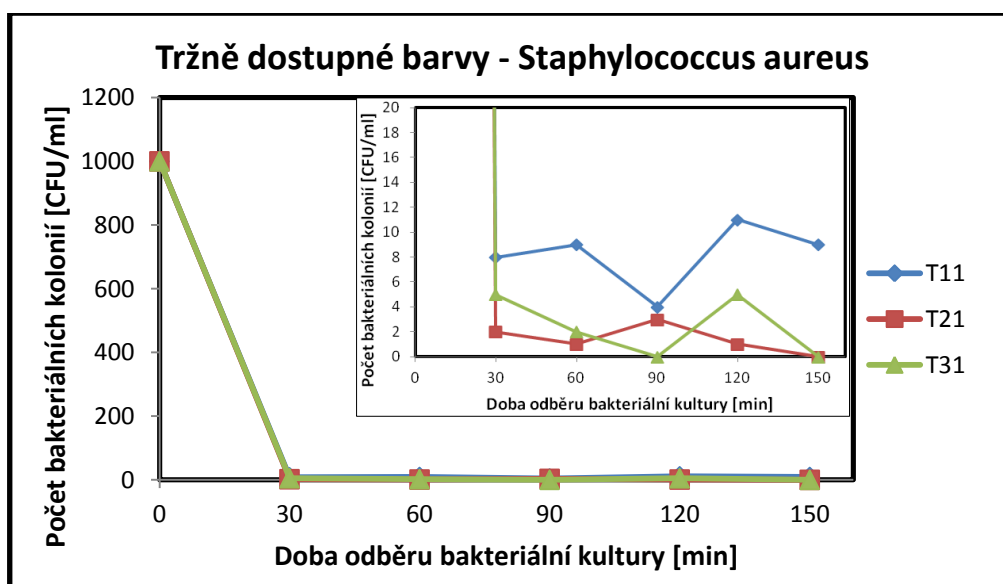
**Graf č. 47:** Inhibice nastává u všech vzorků ve 30. minutě, počet bakteriálních kolonií se u vzorků se solem pohybuje v jednotkách až desítkách. Procento inhibice ve 150. minutě oproti standardu je u 23B větší o 95,1 %, u 23B-10 i 23B-30 o 100 %. Samotný standard barvy vykazoval mírný antibakteriální efekt, avšak o mnoho nižší než vzorky se solem.



**Graf č. 48:** Inhibice nastává u všech vzorků ve 30. minutě, počet bakteriálních kolonií se u vzorků se solem pohybuje v jednotkách až desítkách. Procento inhibice ve 150. minutě oproti standardu je u 23B větší o 85,5 %, u 23B-10 96,1 % a pro 23B-30 o 93,4 %. Samotný standard barvy vykazoval mírný antibakteriální efekt, avšak o mnoho nižší než vzorky se solem.

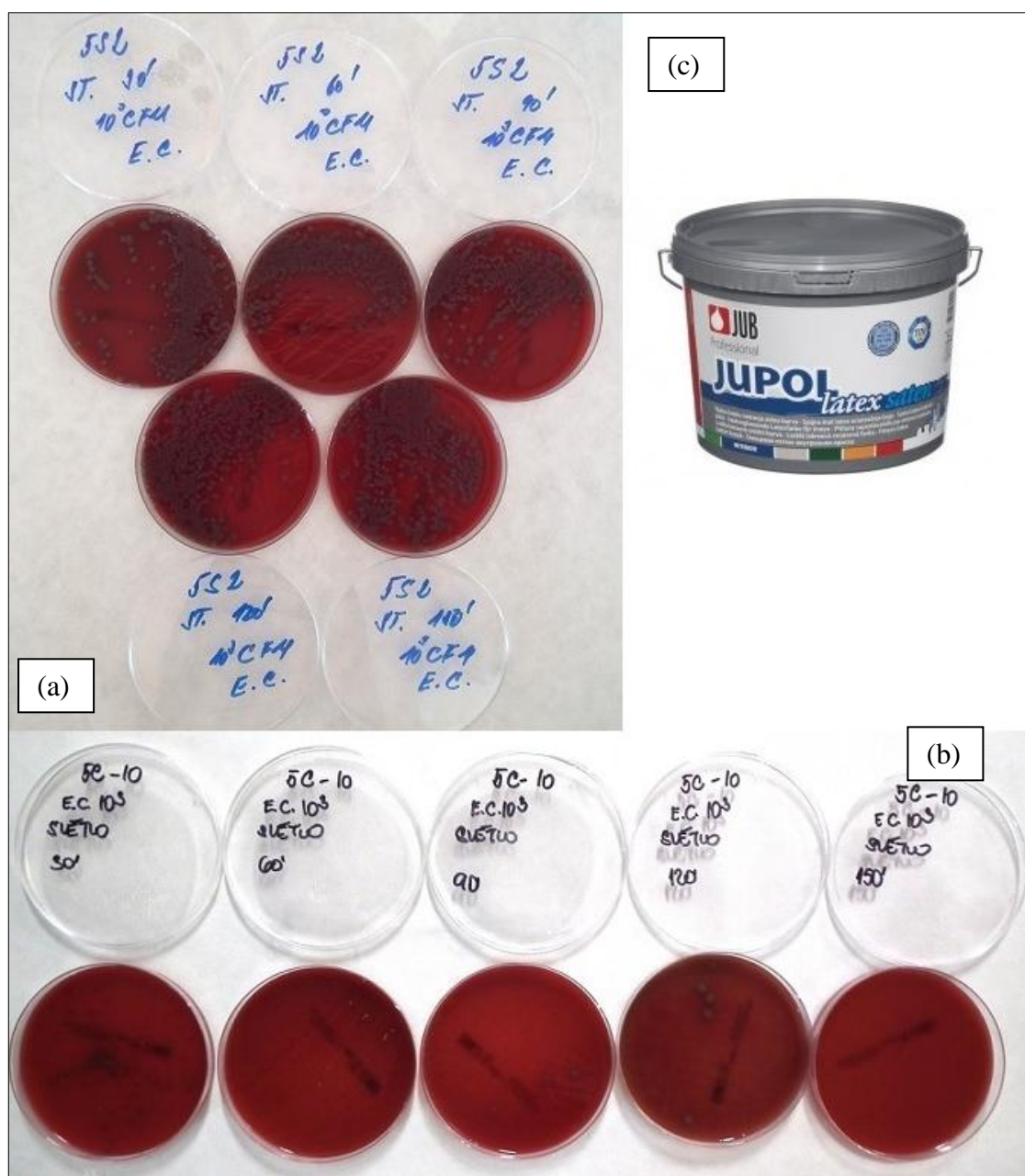


**Graf č. 49:** Inhibice *E. coli* u všech vzorků začíná ve 30. minutě. Počet kolonií se v případě T11 (Jupol citro proti plísním) pohybuje v desítkách a u T21 (Primalex mykostop) a T31 (Remal protiplísňový) v jednotkách. Nejlepší účinnost proti bakteriím *Escherichia coli* po 150 minutách měla barva Primalex mykostop.

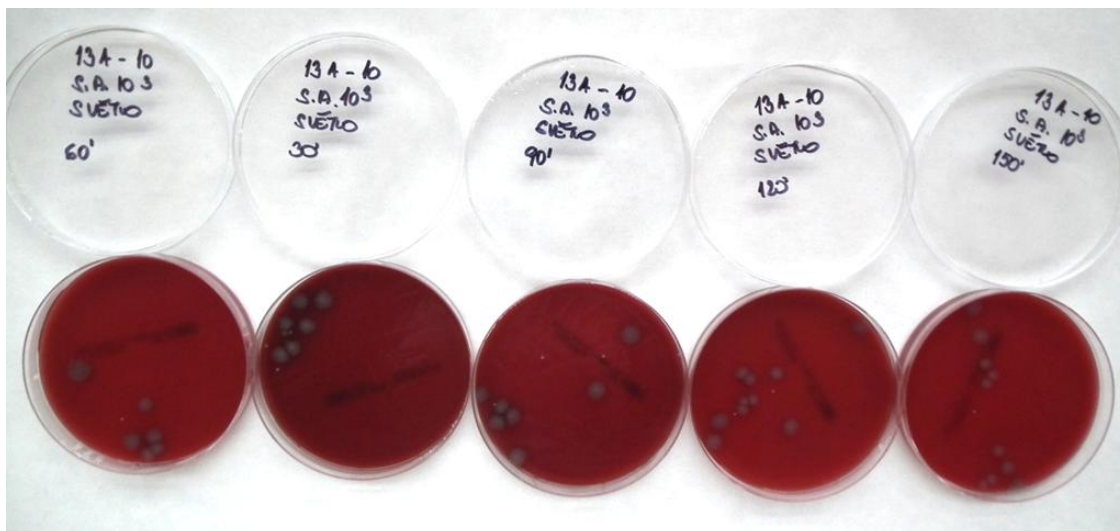


**Graf č. 50:** Inhibice bakterií *S. aureus* u všech vzorků začíná ve 30. minutě. Počet kolonií se pohybuje u všech vzorků v jednotkách. Nejlepší účinnost proti bakteriím *Staphylococcus aureus* po 150 minutách měly barvy Primalex mykostop a Remal protiplísňový.

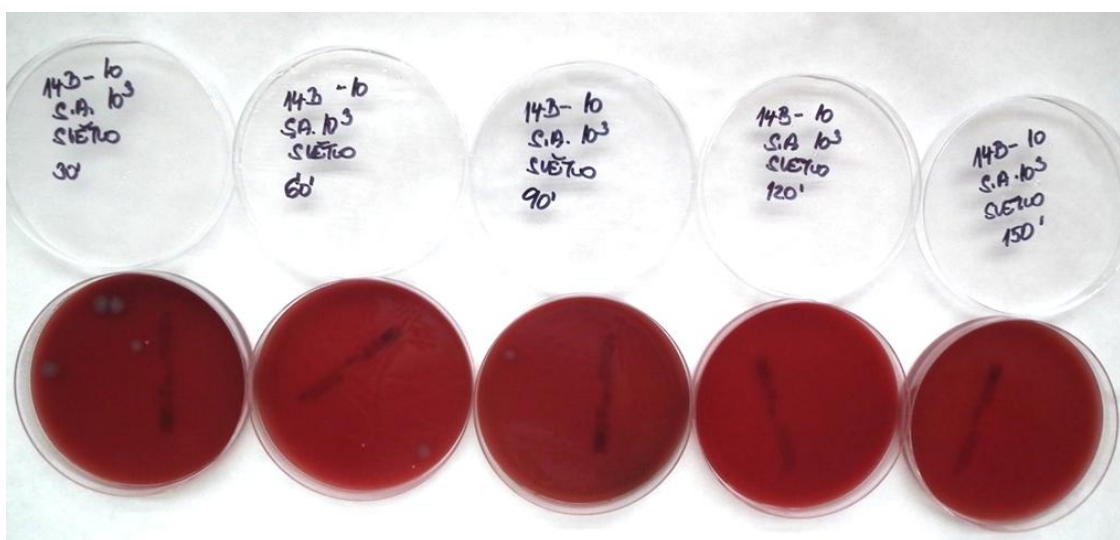




**Obrázek 24:** Fotodokumentace antibakteriálních testů kmene *Escherichia coli* pro barvu Jupol Latex Saten (a) antibakteriální testy standardu barvy – můžeme vidět kompaktní výsev; (b) antibakteriální testy vzorku 5C-10, kde je patrný postupný úbytek kolonií; (c) ukázka balení s testovanou barvou.



**Obrázek 25:** Testy antibakteriálního účinku barvy Balakryl PLASTY 0100 bílý (vzorek 13A-10) proti kmeni *Staphylococcus aureus*. U tohoto vzorku se nepovedlo docílit úplné inhibice.



**Obrázek 26:** Testy antibakteriálního účinku barvy Levis Latex (vzorek 14B-10) proti kmeni *Staphylococcus aureus*. Je zde patrný úbytek počtu kolonií od 30. Minuty, kde se vyskytuje 5 živých kolonií po 120. a 150. minutu, kde žádné živé kolonie nejsou a inhibice je tedy 100%. Můžeme zde pozorovat znatelný rozdíl oproti barvě Balakryl na obrázku 25.

## 5. Shrnutí výsledků a diskuze

Infračervená spektroskopie prokázala probíhající polymeraci, systém polymeruje do 35 minut při 90 °C, kdy dochází k rozkládání BPO, úbytku dvojných vazeb mezi uhlíky a polymeraci. Pomocí měření částic na přístroje Zetasizer Nano ZS – ZEN3601 byla změřena velikost částic, která se pohybovala převážně v intervalu 11,47 a 15,31 nm, což je díky velkému měrnému povrchu ideální velikost pro antibakteriální efekt.

### a) Komerčně dostupné barvy

Nejprve zhodnotím antibakteriální a antimykotické účinky tržně dostupných barev s deklarovanou antimikrobiální účinností. U všech tří komerčně dostupných barev – Jupol Citro (vzorek T11), Primalex mykostop (vzorek T21) a Remal protiplísňový (vzorek T31) je deklarována antimykotická aktivita. U barvy Remal protiplísňový, kde je též uváděn efekt antibakteriální, nastala ve 150. minutě úplná inhibice kmenu *Staphylococcus aureus*. U testování bakteriálního kmene *Escherichia coli* byla sice dosažena inhibice bakterií, avšak ne 100%, ve všech odběrech mimo 60. minutu se objevily živé bakteriální kolonie. V údajích o barvě Primalex mykostop není uveden antibakteriální účinek, přesto ho však barva vykazovala. Pro kmen *Staphylococcus aureus* bylo dosaženo úplné inhibice ve 150. minutě, pro ostatní časy odběru se počet kolonií pohyboval v jednotkách. Při testech antibakteriální účinnosti proti kmenu *Escherichia coli* byly počty kolonií v jednotkách. U barvy Jupol Citro byla taktéž deklarována pouze antimykotická účinnost (potvrzena), barva též prokázala, přestože ne tak dobrý, antibakteriální efekt. Počet živých kolonií se pro kmen *Staphylococcus aureus* pohyboval v jednotkách až desítkách a pro *E. coli* v desítkách. Nejlépe z komerčně prodávaných antibakteriálních a antimykotických barev inhiboval testované bakteriální kmeny Primalex mykostop, který byl však výrazně dražší než druhé dvě barvy. 1 kg Primalexu mykostop stojí přibližně 93 Kč, zatímco 1 kg barvy Remal protiplísňový, jehož inhibice bakterií byla téměř stejně dobrá, se prodává přibližně za 59 Kč.

### b) Barvy s antibakteriálním solem

Barva Jupol Latex Saten prokázala dobrý inhibiční efekt pro všechna ředění solu jak u 2,5 g, tak u 5 g antibakteriální směsi přidané do barvy. Pro poměr 10 g barvy a 5 g antibakteriální směsi byla inhibice ve 150. minutě téměř ve všech případech

100%, pouze vzorky 5B-10 a 5C-10 pro *E. coli* a 5A-10 pro *S. aureus* dosáhly inhibice „jen“ 99,9 %. Vzorky polymerované 10 minut pod UVA obecně dosahovaly v jednotlivých časech o něco horších výsledků, než ty, které byly pod UVA polymerovány 30 minut a ty, co byly polymerovány pouze běžným světlem. Pro poměr 10 g barvy a 2,5 g směsi už sice není taková převaha 100% výsledků, přesto ale všechny vzorky vykazovaly oproti standardu inhibici 99,6 % nebo lepší. Pro tento poměr dosahovala nejlepších výsledků barva se solem ředěným IPA v poměru 1:10, kde vzorky 12C a 12C-30 vykazovaly 100% inhibici obou kmenů. Výsledek je o to výraznější, že samotný standard barvy Jupol Latex Saten nevykazoval inhibiční efekt a při jeho testech se ve všech časech objevil kompletní výsev bakterií po celém povrchu agaru. Z pohledu ceny se nejlépe jeví míchání barvy se směsí C, kde pro 12C vychází 1 kg modifikované barvy přibližně na 157 Kč. Při 10% zředění barvy vodou (podle návodu) je cena pouze 143 Kč za 1 kg. Finanční náklady na 1 kg barvy 5 C jsou přibližně 185 Kč. Tato cena je sice vyšší než u tržně dostupných barev s antimikrobiální účinností, které byly otestovány, avšak inhibiční účinek připravených vzorků je daleko lepší. V porovnání s dalšími barvami na trhu je cenová hladina přibližně stejná (Remal aktiv – 171,50 Kč/kg). Příliš drahá je naopak směs A, protože barva 5A by stála přibližně 474 Kč za kilogram.

Barva Levis Latex (vzorky začínající 7 a 14) prokazovala podobně jako Jupol Latex Saten velice dobrou antibakteriální účinnost u všech vzorků. Inhibice *E. coli* byla téměř u všech vzorků 100%, což platí i pro *S. aureus* u poměru míchání 10 g barvy s 5 g směsi. Nejlépe ze všech vzorků barvy Levis Latex dopadla barva 7C, tedy 10 g barvy a 5 g směsi v poměru 1:10. Vzorky 7C, 7C-10 a 7C-30 vykazovaly pro oba kmeny ve 150. minutě 100% inhibici. Finanční náklady na barvu 7C jsou přibližně 262 Kč/kg.

Barva Balakryl PLASTY 0100 (vzorky značené čísly 6 a 13) bílý po natření změnil barvu z bílé na růžovou až hnědou, což indikuje redukci stříbra z  $\text{Ag}^+$  na  $\text{Ag}^0$ , což bylo pravděpodobně způsobeno přítomností redukčního činidla uvnitř barvy. Bakteriální inhibice byla o poznání slabší než u barev Jupol Latex Saten a Levis Latex. Samotný standard vykazoval inhibiční efekt. Pro *E. coli* se počet živých bakteriálních kolonií pohyboval i ve 150. minutě vždy kolem 20. U kmene *Staphylococcus aureus* se počet kolonií pohyboval pro poměr 10 g barvy a 5 g směsi většinou v jednotkách, pro poměr 10 g barvy a 2,5 g antibakteriální směsi potom kolem 10.

Z rozpouštědlových nátěrových hmot se jako lepší než testované komerční antimikrobiální barvy ukázala pouze barva Johnstone's Polyurethane Varnish - Polyuretanový lak syntetický (vzorky začínající číslem 22), tato barva byla míchána pouze se směsí B – ředění 1:5. Procento inhibice kmenu *E. coli* bylo pro vzorky 23B-10 a 23B-30 ve 150. minutě 100%, u vzorku 23B přežily 3 kolonie, což oproti standardu odpovídalo inhibici lepší o 95,1 %. U testů kmene *S. aureus* byl počet kolonií, které přežily od 3 (23B-10) po 11 (23B), zlepšení inhibice oproti standardu se pohybovalo okolo 90 %. V případech obou kmenů dopadly lépe vzorky polymerované UVA než ty, které byly polymerovány běžným světlem. Cena barvy 23B je přibližně 483 Kč/kg, což je o poznání více, než u tržně dostupných antibakteriálních barev. Zbylé dvě rozpouštědlové barvy Lak U-1051 polyurethanový a LAKSIL bezbarvý lesklý neprokázaly tak dobré antibakteriální účinky, počet kolonií se pohyboval v desítkách.

## 6. Závěr

Všechny testované barvy, jak připravené barvy vybrané k testům, tak komerčně prodávané, prokázaly 100% inhibici kvasinky *Candida glabrata*, čímž se ověřil antimykotický účinek solu AD9. Potvrdilo se také, že barvy Remal protiplísňový, Primalex mykostop a Jupol Citro opravdu mají antimykotické účinky, které jsou u nich deklarovány výrobcem.

Co se týče inhibice bakteriálních kmenů *Staphylococcus aureus* a *Escherichia coli*, prokázaly ve všech směrech dobré výsledky vodou ředitelné barvy Jupol Latex Saten a Levis Latex, u kterých většina vzorků působila ve 150. minutě úplnou (tedy 100%-ní) inhibici. Naopak horší výsledky prokázala barva Balakryl PLASTY 0100 bílý, kde při žádném z odběrů u žádného ze vzorků nedošlo k úplné inhibici. Z rozpouštědlových barev se proti bakterii *Escherichia coli* osvědčila barva Johnstone's Polyurethane Varnish, avšak při testech proti kmenu *Staphylococcus aureus* již její výsledky tak dobré nebyly.

Celkově vodou ředitelné barvy ukázaly při modifikaci solem AD9 lepší inhibiční efekt než barvy rozpouštědlové, které sice nejevily žádné opticky patrné známky redukčního účinku (zejména na kationty stříbra v solu), ale svou strukturou pravděpodobně neumožnily kationtům dostatečný kontakt s povrchem (a na něj nasazenými bakteriemi), aby mohlo být dosaženo úplné inhibice.

Za další výzkum nepochybně stojí v první řadě barva Jupol Latex Saten, která měla u většiny vzorků velmi dobré inhibiční účinky, její cena je z použitých barev nejnižší a byla by schopná konkurovat tržně dostupným antibakteriálním a antimykotickým. Další studium si zaslouží i barva Levis Latex, která stejně jako Jupol Latex Saten prokazovala velmi dobré antibakteriální účinky vůči oběma testovaným bakteriálním kmenům, avšak její cena je o něco vyšší než u barvy Jupol.

V dalším výzkumu se hodlám zaměřit na dlouhodobé sledování vrstev natřených barvami, které se osvědčily. Chci také vyzkoušet několik dalších barev a případně podrobněji analyzovat příčiny horších účinků některých barev, jejichž testy nedopadly tak dobře. Důležitým úkolem bude do budoucna také snižování nákladu na přípravu antibakteriálních barev.

## 7. Literatura

1. Alberts, B. Základy buněčné biologie. Praha : Espero Publishing, 2005. ISBN 80-902906-2-0.
2. File:Bacterial morphology diagram cs (2).svg. Wikipedia: the free encyclopedia [online]. [Online] Wikimedia Foundation, 2008. [Citace: 24. 11 2013.] [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/02/Bacterial\\_morphology\\_diagram\\_cs\\_%](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/02/Bacterial_morphology_diagram_cs_%).
3. Víchová, Jana. Fytopatologie cvičení: Bakterie (Prokaryota ). [Online] MENDELOVA UNIVERZITA, 18. 07 2013. [Citace: 14. 04 2014.] [http://web2.mendelu.cz/af\\_291\\_projekty2/vseo/stranka.php?kod=130](http://web2.mendelu.cz/af_291_projekty2/vseo/stranka.php?kod=130).
4. Schindler, J. Mikrobiologie: Pro studenty zdravotnických oborů. Praha : Grada, 2010. ISBN 978-80-247-3170-4.
5. KOMORNICZAK, M. Soubor:Bacterial growth cs.svg. Wikiskripta. [Online] 2011. [Citace: 24. 11 2013.] [http://www.wikiskripta.eu/index.php/Soubor:Bacterial\\_growth\\_cs.svg](http://www.wikiskripta.eu/index.php/Soubor:Bacterial_growth_cs.svg).
6. TALARO, Kathleen P a CHESS, Barry. Foundations in microbiology. 8. vydání. New York : McGraw-Hill, 2012. ISBN 00-713-1673-6.
7. Bruchanov, M. Plazmová sterilizace. [Online] 29. 12 2005. [Citace: 10. 04 2014.] [http://bruxy.regnet.cz/fel/02FM1/plazmova\\_sterilizace.pdf](http://bruxy.regnet.cz/fel/02FM1/plazmova_sterilizace.pdf).
8. Tomášková, Petra. Dezinfekční prostředky pro zdravotnictví, potravinářství a úpravu vody. Fakulta technologická, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Zlín : Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2011. Bakalářská práce.
9. LUELLMANN, H. Farmakologie a toxikologie. 1. vydání. Praha : Grada Publishing, 2002. ISBN 80-716-9976-4..
10. VOTAVA, M. Lékařská mikrobiologie speciální. Brno : Neptun, 2003. ISBN 80-902-8966-5..
11. BEDNÁŘ, M. Lékařská mikrobiologie. místo neznámé : Marvil s.r.o., 1996. ISBN 80-238-0297-6.
12. STEFANI, Stefania, Doo Ryeon CHUNG, Alex W. FRIEDRICH, Angela M. KEARNS, Henrik WESTH a MACKENZIE. Meticillin-resistant Staphylococcus aureus (MRSA): global epidemiology and harmonisation of typing methods. International Journal of Antimicrobial Agents. 2012, Sv. 39, 4.
13. Prnka T., Šperlink K. Bionanotechnologie, nanobiotechnologie, nanomedicína. 1. vydání. Ostrava : Repronis, 2006. ISBN 80-7329-134-7..

14. PANÁČEK, A., a kol.,. Silver colloid nanoparticles: synthesis, characterization, and their antibacterial activity. J. Phys. Chem. 2006, 110, stránky 16248–16253.
15. S. Pal, .Y. Kyung Tak, and Joon Myong Song. Does the Antibacterial Activity of Silver Nanoparticles Depend on the Shape of the Nanoparticle? A Study of the Gram-Negative .Bacterium Escherichia coli. APPLIED AND ENVIRONMENTAL MICROBIOLOGY. March, 2007, stránky 1712-1720.
16. Úvod » Interiérové barvy » Remal standard fólie zdarma 1kg. Barvy Vacek. [Online] [Citace: 17. 10 2014.] <http://www.barvy-na.cz/barvylaky-cz/eshop/5-1-Interierove-barvy/0/5/235-Remal-standard-folie-zdarma-1kg>.
17. REMAL PROTIPLÍSŇOVÝ 1kg. Pemi.cz. [Online] [Citace: 17. 10 2013.] <http://pemi.cz/cs/detail-zbozi/vysledky-hledani-0:1:1/remal-protiplisnovy-1kg-16425.html>.
18. REMAL PROTIPLÍSŇOVÝ 5 KG: DŘEVOPRODEJ KUBÁSEK. DŘEVOPRODEJ KUBÁSEK. [Online] [Citace: 17. 10 2013.] <http://drevoprodejkubasek.cz/katalog/1134337-remal-protiplisnovy-5-kg.html>.
19. Úvodní stránka » Malířské listy č. 3 » Další z řady kvalitních Českých výrobků: REMAL - AKTIV: Melířské listy Moravsko Slezské. Melířské listy Moravsko Slezské. [Online] [Citace: 17. 10 2013.] <http://www.malirske-listy.cz/inpage/dalsi-z-rady-kvalitnich-ceskych-vyrobku-remal-aktiv/>.
20. REMAL AKTIV nátěr proti plísním a bakteriím 7,5kg. PEMI.cz. [Online] [Citace: 17. 10 2013.] <http://pemi.cz/cs/detail-zbozi/vysledky-hledani-0:1:1/remal-aktiv-nater-proti-plisnim-a-bakteriiim-75kg-20591.html>.
21. Primalex Standard 4 kg. U NOHÁČŮ. [Online] [Citace: 17. 10 2013.] <http://www.ebarvylaky.cz/standard/1602-primalex-standard-4-kg.html>.
22. Primalex mykostop. U NOHÁČŮ. [Online] [Citace: 17. 10 2013.] <http://www.ebarvylaky.cz/160-mykostop>.
23. Detecha Detakryl Protiplísňový sněhobílý 1,2 kg. Nejlevnější Barvy Laky.cz. [Online] [Citace: 17. 10 2013.] <http://www.nejlevnejsi-barvy-laky.cz/detecha-detakryl-protiplisnovy-snehobily-1-2-kg>.
24. JOHNSTONES - malířské barvy, laky, lazury, emaily, oleje»Interiérové barvy»Johnstones Anti Bacterial Acrylic»Johnstones Anti Bacterial Acrylic Eggshell(polomat) bílá 5 L. U NOHÁČŮ. [Online] [Citace: 17. 10 2013.] <http://www.ebarvylaky.cz/johnstones-anti-bacterial-acrylic/1225-johnstones-anti-bacterial-acrylic-eggshellpolomat-bila-5-l.html>.
25. Protectam. [Online] [Citace: 17. 10 2013.] <http://protectam.cz/>.



26. Ceník barev pro interiéry a fasády staveb. Finall Styl. [Online] [Citace: 17. 10 2013.] [http://www.finall-styl.com/cenik\\_barev\\_2012.pdf](http://www.finall-styl.com/cenik_barev_2012.pdf).
27. Caparol Indeko W - 2,5L fungicidní a antibakteriální barva na plísně. [Online] [Citace: 17. 10 2013.] <http://www.naradiprofesional.cz/caparol-indeko-w-2-5l-fungicidni-a-antibakterialni-barva-na-plisne/>.
28. Remal Vinyl báze A 0,8 kg. Prozk s. r. o. [Online] [Citace: 17. 10 2013.] <http://www.prozk.cz/remal-vinyl-baze-a-08-kg-31589.html>.
29. Remal Vinyl báze B 4 kg. Prozk s. r. o. [Online] [Citace: 17. 10 2013.] <http://www.prozk.cz/remal-vinyl-baze-b-4-kg-27310.html>.
30. Remal vinyl 4 roční období 4,2kg. BALACO SVITAVY. [Online] [Citace: 17. 10 2013.] <http://www.barvylakypomucky.cz/cs/vnitri-malirske-natery/1201-remal-vinyl-4-rocni-obdobi-42kg.html>.
31. REMAL PROFI 1 kg. Barvy Eso. [Online] BARVY ESO s.r.o. [Citace: 17. 10 2013.] <http://www.barvyeso.cz/shop/remal-profi-1-kg/400637/101.html>.
32. KVÍTEK, L., PANÁČEK, A. Olomouc : Univerzita Palackého v Olomouci, 2007. ISBN 978-80-244-1669-4..
33. EXNAR, P. Metoda sol-gel. Liberec : Technická univerzita v Liberci, 2006. ISBN 80-7372-063-9.
34. YOUNG, S. Sol-Gel Science for Ceramic Materials. SIGMA-ALDRICH. [Online] 1999. [Citace: 16. 01 2014.] <http://www.sigmaaldrich.com/technical-documents/articles/material-matters/sol-gel-science-for.html>.
35. MORAVEC, Z. Sol-gel metody. muni.cz. [Online] Masarykova univerzita v Brně. [Citace: 20. 01 2014.] [https://cheminf.ncbr.muni.cz/vibuch/documents/2/vibuch\\_studmat\\_B1.pdf](https://cheminf.ncbr.muni.cz/vibuch/documents/2/vibuch_studmat_B1.pdf).
36. ŠLAMBOŘOVÁ, I., a kol. New type of protective hybrid and nanocomposite hybrid coatings containing silver and copper with an excellent antibacterial effect especially against MRSA. Materials Science and Engineering C. 2013, 33, stránky 265-273.
37. HAAS K.-H., AMBERG-SCHWAB S., ROSE K. et al. Functionalized coatings based on inorganic–organic polymers (ORMOCERAs) and their combination with vapor deposited inorganic thin films. Surface and Coatings Technology. 1999, Sv. 111, stránky 72–79.
38. KLOUDA, P. Moderní analytické metody. 2., upr. a dopl. vydání. Ostrava : Pavel Klouda, 2003. ISBN 80-863-6907-2.

39. Kim, S. Large-scale synthesis of silver nanoparticles using Ag(I)–S12 polymer through electron beam irradiation. *Radiation Physics and Chemistry*. 08 2012, Sv. 81, 8, stránky 978-981. <http://dx.doi.org/10.1016/j.radphyschem.2012>.
40. Šlamborová, Irena, Zajícová, Veronika a Exnar, Petr. Antibakteriální vrstva působící proti patogenním bakteriím, zejména proti bakteriálnímu kmeni MRSA, a způsob vytvoření této vrstvy. 303250 Česká republika, 20. 06 2012.
41. Jub Jupol Latex Polomat bílá 2 L. Nejlevnější Barvy Laky.cz. [Online] [Citace: 17. 10 2013.] <http://www.nejlevnejsi-barvy-laky.cz/jub-jupol-latex-polomat-bila-2-l-vysoce-kvalitni-latexova-polomatna-malirska-barva>.
42. Jupol Latex Saten. JUB. [Online] [Citace: 10. 04 2014.] <http://www.jub.cz/vyrobky/malirske-barvy/jupol-latex-saten/?cat=3191>.
43. LAKSIL bezbarvý lesklý. biopol paints on-line obchod barev a laků. [Online] [Citace: 10. 04 2014.] <http://www.prodej-barev.cz/kategorie-barev/zakladni-barvy/napousteci-a-kotvici-pripravky/laksil-bezbarvy-leskly-detail>.
44. U 1051 lak polyurethanový. Chemolak. [Online] [Citace: 10. 04 2014.] (<http://www.chemolak.cz/cz/podle-povrchu/kov/laky2013-05-13-14-04-00/u-1051-detail>).
45. U-1051 Polyuretanový lak na parkety. Barvy - laky - Zlín. [Online] [Citace: 10. 04 2014.] <http://www.barvy-laky-zlin.cz/u-1051-polyuretanovy-lak-na-parkety-chemolak>.
46. Johnstones Polyurethane Varnish Gloss - lesk 0,75 L. U NOHÁČŮ. [Online] [Citace: 10. 04 2014.] <http://www.ebarvylaky.cz/polyurethane-varnish-polyuretanovy-lak-synteticky/1146-johnstones-polyurethane-varnish-gloss-lesk-075-l.html>.
47. Polyurethane Varnish - Polyuretanový lak syntetický. Johnstone's. [Online] [Citace: 10. 04 2014.] [http://www.johnstones.cz/products/9-polyurethane\\_varnish\\_-\\_polyuretanovy\\_lak\\_synteticky#!prettyPhoto](http://www.johnstones.cz/products/9-polyurethane_varnish_-_polyuretanovy_lak_synteticky#!prettyPhoto).
48. JUPOL CITRO protiplíšňová malířská barva s vůní citrónu 2l. EXPRESS COLOR. [Online] [Citace: 20. 04 2014.] <http://www.express-color.cz/products/jupol-citro-protiplisnovy-nater-2l/>.
49. Jupol Citro. JUB. [Online] [Citace: 20. 04 2014.] <http://www.jub.cz/vyrobky/malirske-barvy/jupol-citro-1840/?cat=3191>.
50. REMAL PROTIPLÍŠŇOVÝ. REMAL.cz. [Online] [Citace: 25. 04 2014.] <http://www.remal.cz/barvy-na-zed/2vt-remal-protiplisnovy/15>.
51. Ciba® IRGACURE® 819. Ciba. [Online] [Citace: 27. 04 2014.] <http://www.xtgchem.cn/upload/20110629045602.PDF>.